

Universität Zürich  
Zentrum für Zahnmedizin  
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie (PPK)  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

---

Arbeit unter Leitung von Dr. med. dent. Tobias Tauböck

# **Einfluss kunststoffbasierter Oberflächenversiegler auf das Rauigkeitsprofil und Glanzverhalten von Kompositmaterialien vor und nach thermomechanischer Alterung**

## **INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin der Medizinischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
Sandro Keller  
von Herisau AR

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin  
Zürich 2014

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>           | <b>I</b>  |
| <b>Zusammenfassung.....</b>               | <b>II</b> |
| <b>1 Einleitung.....</b>                  | <b>1</b>  |
| <b>2 Literaturübersicht.....</b>          | <b>3</b>  |
| 2.1 Komposit .....                        | 3         |
| 2.2 Degradation.....                      | 4         |
| 2.3 Politursysteme.....                   | 5         |
| <b>3 Material und Methode.....</b>        | <b>8</b>  |
| 3.1 Versuchsplan.....                     | 8         |
| 3.2 Probenherstellung .....               | 10        |
| 3.3 Vorbehandlung.....                    | 11        |
| 3.4 Künstliche Alterung.....              | 14        |
| 3.5 Glanzmessung .....                    | 15        |
| 3.6 Rauigkeitsmessung .....               | 15        |
| 3.7 Rasterelektronenmikroskop (REM).....  | 16        |
| 3.8 Optische Analyse .....                | 16        |
| 3.9 Statistische Analyse .....            | 17        |
| <b>4 Ergebnisse.....</b>                  | <b>18</b> |
| 4.1 Glanz.....                            | 18        |
| 4.2 Rauigkeit .....                       | 22        |
| 4.3 REM-Bilder .....                      | 25        |
| 4.4 Auswertung der optischen Analyse..... | 27        |
| <b>5 Diskussion .....</b>                 | <b>29</b> |
| 5.1 Diskussion der Methodik .....         | 29        |
| 5.2 Diskussion der Ergebnisse .....       | 31        |
| <b>6 Schlussfolgerung .....</b>           | <b>35</b> |
| <b>7 Literaturverzeichnis .....</b>       | <b>36</b> |
| <b>8 Danksagungen.....</b>                | <b>42</b> |
| <b>9 Curriculum Vitae.....</b>            | <b>43</b> |

## Zusammenfassung

**Ziel der Studie:** Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von Oberflächenversiegeln auf das Rauigkeitsprofil und Glanzverhalten von Kompositmaterialien vor und nach einer künstlichen Alterung zu untersuchen.

**Material und Methode:** Je 70 Proben eines Mikrohybridkomposits (Filtek Z250) und eines nanogefüllten Komposits (Filtek Supreme XT) wurden mit 320 grit Siliciumcarbidpapier angeschliffen und randomisiert auf jeweils sieben Gruppen entsprechend der folgenden Politurverfahren aufgeteilt: Negativkontrolle ohne weitere Bearbeitung (NC), Politur mit Sof-Lex Discs (SL), Politur mit Sof-Lex Discs und anschließende Applikation des Oberflächenversieglers Fortify (SL/F), Applikation des Oberflächenversieglers Fortify (F), Politur mit Sof-Lex Discs und anschließende Applikation des Oberflächenversieglers Fortify Plus (SL/FP), Applikation des Oberflächenversieglers Fortify Plus (FP), Positivkontrolle (PC; maschinelle Hochglanzpolitur bis 4000 grit). Nach der Oberflächenbehandlung wurden die Proben künstlich gealtert (240 h Ethanollagerung, 300 min Bürstabrasion und 3000 Zyklen Thermowechselbelastung). Vor, während und nach der künstlichen Alterung wurden der Oberflächenglanz und die Rauigkeit gemessen und Bilder im Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgenommen. Der Abtrag des Oberflächenversieglers wurde mit einem Stereomikroskop beurteilt.

**Ergebnisse:** Sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung hatten das Kompositmaterial sowie das Politurverfahren einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Glanzverhalten ( $p < 0.001$ ). Für die Rauigkeit war vor als auch nach der künstlichen Alterung nur das Politurverfahren von signifikanter Bedeutung, nicht aber das Kompositmaterial. Nach der Politur waren die mit Fortify behandelten Gruppen (SL/F und F) den mit Fortify Plus behandelten Gruppen (SL/FP und FP) bezüglich des Glanz- und Rauigkeitsverhaltens überlegen. Während der künstlichen Alterung war bei allen vier mit Oberflächenversiegler behandelten Gruppen eine signifikante Abnahme des initialen Glanzes sowie eine signifikante Zunahme der Rauigkeit zu beobachten. Die Politur der Proben mit Sof-Lex Discs (SL) erzeugte bei beiden Kompositmaterialien nach Abschluss der Alterung die höchsten Glanz- und die niedrigsten Rauigkeitswerte.

**Schlussfolgerung:** Die Verwendung von Oberflächenversiegeln bietet keinen Vorteil gegenüber der herkömmlichen Politur mit Aluminiumoxid-Discs in Bezug auf das Glanzverhalten und die Oberflächenrauigkeit von Kompositrestorationen nach künstlicher Alterung.

## 1 Einleitung

Die optimale Politur einer Kompositrestauration ist von grosser Bedeutung, da die Oberflächenbeschaffenheit von dentalen Materialien einen entscheidenden Einfluss auf die Plaque-Akkumulation, die Abnutzungsbeständigkeit, die Ästhetik und die Anfälligkeit für Verfärbungen hat (MORGAN 2004). Es wurde gezeigt, dass es bei einer Rauigkeit von  $> 0.2 \mu\text{m}$  zu vermehrter Plaque-Akkumulation kommt, was wiederum das Risiko einer Gingivitis bzw. Parodontitis als auch von Sekundärkaries erhöht (BOLLEN ET AL. 1997; QUIRYNEN ET AL. 1996). Ebenso wurde festgestellt, dass Patienten Veränderungen der Rauigkeit von  $0.25\text{-}0.5 \mu\text{m}$  mit der Zunge wahrnehmen können (JONES ET AL. 2004). Ausserdem verfärben sich rauere Oberflächen schneller, was wiederum zu ästhetischen Problemen führen kann (LU ET AL. 2005).

Ein weiterer entscheidender Faktor für das optische Erscheinungsbild einer Restauration ist der Oberflächenglanz. Er hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ästhetik einer Kompositrestauration (O'BRIEN ET AL. 1984). Insbesondere im ästhetisch wichtigen Frontzahnbereich ist die Glanzstabilität von Bedeutung, vor allem bei grösseren Restaurationen wie direkten Veneers aus Komposit oder Komposit-Eckenaufbauten (HEINTZE & ZIMMERLI 2011; DUNN 1998). Durch Kratzer oder Erosionen hervorgerufene Oberflächendefekte im Kompositmaterial können erhebliche Auswirkungen auf das Aussehen einer Restauration haben (CHARIG ET AL. 2004). Oberflächenrauigkeit, Glanz und die optimale Farbauswahl gehören zu den wichtigsten Faktoren für die optische Wahrnehmung von Kompositrestaurationen (HOSOYA ET AL. 2011; KAKABOURA ET AL. 2007).

Nach der groben Ausarbeitung, die im Wesentlichen aus der Überschussentfernung, der anatomischen Formgestaltung und der Anpassung der Okklusion einer Restauration besteht, folgt die eigentliche Politur. Wichtigste Voraussetzung für die ideale Politur ist die Auswahl eines geeigneten Politurverfahrens und -systems. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Produkte entwickelt und untersucht, um den Politurprozess zu vereinfachen, zu verkürzen und zu verbessern. Die Auswahl an Politursystemen ist immens. Es gibt Systeme, welche in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten angewendet werden müssen und solche, die lediglich aus einer Komponente bestehen. Je nach Lokalisation einer Restauration bieten sich unterschiedliche Systeme und Formen von Polierern an, um ein optimales Ergebnis zu

erreichen. Die jeweiligen Instrumente sind zusätzlich noch mit unterschiedlichen Abrasivstoffen versetzt.

Ebenfalls erhältlich sind Oberflächenversiegler, welche mit einem Pinsel auf Kompositrestaurationen aufgetragen und anschliessend lichtgehärtet werden, wodurch die Oberfläche versiegelt und Porositäten überdeckt werden. Durch die einfache und schnelle Anwendung verspricht man sich ein Zeitersparnis im Vergleich zu herkömmlichen Politurverfahren. Das Auftragen eines Oberflächenversieglers soll auch die Randspaltbildung vermindern und die Abrasion reduzieren (DICKINSON ET AL. 1990; DICKINSON & LEINFELDER 1993). Durch das Auftragen eines Oberflächenversieglers auf provisorische Füllungen kann laut PEREZ DAVIDI ET AL. (2007) die Bakterienanheftung stark verringert werden, was die Plaque-Akkumulation und damit das Entzündungsrisiko im umliegenden Gewebe vermindert. ATTAR (2007) empfiehlt eine Anwendung von Oberflächenversiegler aufgrund der niedrigen Oberflächenrauigkeitswerte, die erzielt werden konnten. BERTRAND ET AL. (2000) zeigten zwar auf, dass Oberflächenversiegler Defekte in der Oberfläche von finierten Kompositrestaurationen auffüllen konnten, sie deckten jedoch auch die Schwierigkeit auf, eine gleichmässige Schicht des Versieglers zu applizieren.

Über die Auswirkungen der Alterung auf Oberflächenversiegler gibt es bisher nur wenige Erkenntnisse. Ob deren Anwendung aber die klassische Politur ersetzen bzw. ergänzen kann, hängt wesentlich vom Verschleiss über die Zeit ab. Es stellt sich zudem die Frage, ob die Applikation eines Oberflächenversieglers nach klassischer Politur von modernen Kompositmaterialien einen zusätzlichen Nutzen bezüglich Behandlungszeit und Kosten bringt, was von CILLI ET AL. (2009) angezweifelt wird. Bei der Entscheidung für oder gegen eine Anwendung von Oberflächenversiegler, scheint demnach deren Verschleiss- bzw. Abrasionsbeständigkeit über die Zeit eine entscheidende Rolle zu spielen.

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von Oberflächenversiegler auf das Rauigkeitsprofil und Glanzverhalten von Kompositmaterialien vor und nach einer thermomechanischen Alterung zu untersuchen.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Komposit

Als Komposite bezeichnet man Kunststoffe, die nach der Applikation in eine Kavität chemisch oder durch Zufuhr von Energie aushärten (HELLWIG ET AL. 2009). Diese Komposite bestehen aus drei Hauptbestandteilen: der organischen Matrix, der dispersen Phase und der Verbundphase.

Die organische Phase besteht aus Monomeren, nämlich dem Hauptmonomer Bisphenol-A-Diglycidyl-Methacrylat (Bis-GMA) sowie den häufig vorkommenden Komonomeren Urethandimethacrylat (UDMA), Bisphenol-A ethoxyliertes Dimethacrylat (Bis-EMA) und Triethylen-Glycol-Dimethacrylat (TEGDMA) (HELLWIG ET AL. 2009). Hinzu kommen noch Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmente und Additiva.

Die disperse Phase besteht hauptsächlich aus anorganischen Füllern. Durch sie werden die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Matrix verbessert, wodurch die Druck- und Zugfestigkeit, das Elastizitätsmodul und die Verschleissfestigkeit erhöht werden (HELLWIG ET AL. 2009). Komposite werden aufgrund der Grösse ihrer Füllerpartikel eingeteilt in Hybridkomposite (8-30  $\mu\text{m}$ ), Mikrohybridkomposite (0.6-3.6  $\mu\text{m}$ ) und mikrogefüllte Komposite (ca. 0.04  $\mu\text{m}$ ) (DOS SANTOS G B ET AL. 2008; WILLEMS ET AL. 1992). Mit der Entwicklung der Nanotechnologie kam eine neue Art von Kompositen hinzu, die sogenannten nanogefüllten Komposite. Sie kommen entweder als Nanohybridkomposite oder als Nanopartikelkomposite vor, wobei sich letztere in Nanomere und Nanocluster einteilen lassen (MITRA ET AL. 2003). Diese Materialien eignen sich aufgrund ihrer hohen Glanzbeständigkeit, ihrer Bruchfestigkeit und ihrer hohen Verschleissfestigkeit sowohl für Füllungen im Front- als auch im Seitenzahnbereich und sollen dadurch die positiven Eigenschaften von mikrogefüllten Kompositen (gute Polierbarkeit) und Hybridkompositen (gute mechanische Eigenschaften) vereinen (MITRA ET AL. 2003).

Die Verbundphase besteht aus Silanen und Kopolymeren und verbindet die organische Matrix mit der dispersen Phase.

## 2.2 Degradation

Polymernetzwerke können Wasser aus ihrer Umgebung aufnehmen und im Gegenzug Komponenten aus ihrem Netzwerk abgeben. Dies kann zu Volumenveränderungen durch Quellung führen, ebenso wie zu physikalischen Veränderungen, wie Erweichung und zu chemischen Veränderungen, wie Hydrolyse oder Oxidation (FERRACANE 2006).

Es gibt viele Einflüsse, durch die eine Degradation eines Komposits erfolgen kann. Die in der Mundhöhle stattfindende Degradation ist ein komplexer Prozess, bei dem es zum Zerfall und zur Auflösung von Material im Speichel kommt. Chemische bzw. physikalische Degradation, wie Verschleiss und Erosion bedingt durch Essen, Kauen und bakterielle Aktivität, gehören ebenfalls dazu (SANTERRE ET AL. 2001). Werden Kompositmaterialien Lösungsmitteln ausgesetzt, welche z.B. Nahrungsmittel simulieren sollen, kommt es nicht nur zu einer Degradation der Füller (SÖDERHOLM 1984) sondern auch zu einer Degradation am Füller/Matrix-Interface (FERRACANE & MARKER 1992). Kompositmaterialien nehmen über die Zeit Wasser auf, was neben einer Degradation der Füller/Matrix-Verbindungen und einem erhöhten Verschleiss auch zu einer Volumenzunahme führt (HEINTZE & ZIMMERLI 2011). Durch das Einlegen des Komposits in Wasser werden ungebundene Moleküle ausgewaschen und Wasser wird durch Diffusion in die Polymermatrix eingelagert (FERRACANE & CONDON 1990). Die meisten Wassermoleküle besetzen die freien Räume zwischen den Ketten sowie kleine Hohlräume, die während der Polymerisation entstanden sind (SÖDERHOLM 1984). Durch Polymerisationsschrumpfung und Flüssigkeitsaufnahme durch das Komposit können Mikrorisse am Zahn/Füllungs-Interface und in der Kompositmatrix entstehen und sich ausbreiten, was zur Beschleunigung der Degradation führt (LEE ET AL. 1995; YAP ET AL. 2001). Bei Kompositmaterialien wurde in einer oralen Umgebung auch ohne zusätzliche Belastung oder Abrasionskräfte eine Degradation beobachtet (ROULET & WÄLTI 1984; VAN GROENINGEN ET AL. 1986). Folglich muss die chemische Degradation durch Enzyme des Speichels oder auch durch Lösungsmittel eine wichtige Rolle spielen.

Der Einfluss von alkoholischen Getränken, Süßigkeiten, Gemüse und Früchten auf Kompositrestaurationen kann mit einer Lagerung in Ethanol simuliert werden (MCKINNEY & WU 1985). Ethanol mit 75 Vol.-% zeigte in früheren Studien, verglichen

mit anderen Lösungen, den grössten Effekt der Degradation der Oberfläche, wodurch sich die Härte der Oberfläche reduzierte und der Verschleiss erhöhte (BARUCCI-PFISTER & GÖHRING 2009; MCKINNEY & WU 1985; YAP ET AL. 2001). Die Resistenz des Komposits gegen Verschleiss wird durch das Aufweichen der organischen Matrix signifikant verringert (WU & MCKINNEY 1982).

## **2.3 Politursysteme**

Wie in der Einleitung erwähnt, ist die Wahl des Politursystems für das Erreichen des optimalen Oberflächenglanzes bzw. einer geringen Oberflächenrauigkeit von grosser Bedeutung. Politursysteme sind in zahlreichen Variationen erhältlich. Wurden früher vor allem Mehrschritt-Systeme, d.h. mehrere aufeinanderfolgende und aufeinander abgestimmte Komponenten angewendet, so werden heute immer häufiger Systeme entwickelt, bei denen lediglich noch eine oder zwei Komponenten verwendet werden müssen. Dadurch soll der Politurvorgang nicht nur vereinfacht, sondern auch verkürzt werden.

Je nach Lokalisation einer Restauration bieten sich unterschiedliche Systeme und Formen an. Kelche und Spitzen sind für die Politur und Erhaltung der anatomischen Strukturen geeignet, vor allem im okklusalen Bereich. Polierstreifen („strips“) erleichtern das Polieren der approximalen Bereiche und flexible Politurscheiben („discs“) können sowohl für konvexe und glatte Flächen als auch für proximale Bereiche angewendet werden. Bürsten können mit oder ohne Pasten verwendet werden, um den abschliessenden Hochglanz zu erzeugen. Die jeweiligen Komponenten sind mit Abrasivstoffen wie z.B. Diamantpartikeln, Aluminiumoxid, Siliciumdioxid oder Zirkonoxid versetzt.

Es wurde bereits mehrfach beschrieben, dass Ein-Schritt Politursysteme gute Ergebnisse erzielen und Mehr-Schritt-Systemen ebenbürtig sind (ERDEMIR ET AL. 2012; LU ET. AL 2003; ST-GEORGES ET AL. 2005; YAP ET AL. 2004). So zeigte sich, dass das Ein-Schritt System PoGo (Dentsply/Caulk, Milford, DE, USA) zu einer ähnlich glatten Oberfläche bei der Politur von Kompositproben führte, wie die Anwendung von drei aufeinanderfolgenden Aluminiumoxid-Politurscheiben (DA COSTA ET AL. 2007; ERDEMIR ET AL. 2012).



Aluminiumoxid-Politurscheiben haben sich über viele Jahre und in vielen Studien bewährt (BARBOSA ET AL. 2005; BORGES 2004; CELIK & OZGÜNTAY 2009; CHUNG 1994; DA COSTA ET AL. 2007; LU ET AL. 2003). In all diesen Arbeiten führte die Politur mit flexiblen Aluminiumoxid-Discs stets zu niedrigen Rauigkeitswerten. Bei der Politur mit Aluminiumoxid-Discs werden die Matrix und die Füller eines Komposits gleichmässig abgetragen, was zu einer glatten Oberfläche führt (HERRGOTT ET AL. 1989; ROEDER ET AL. 2000; VAN DIJKEN & RUYTER 1989).

Interessant ist auch die Anwendung von Oberflächenversiegeln. Diese können nach erfolgter Politur einer Restauration als zusätzliche Schutzschicht aufgetragen werden oder gegebenenfalls direkt ohne vorgängige Politur appliziert werden, um Zeit einzusparen. Dadurch sollen Mikrodefekte der Oberfläche ausgeglichen, der Randschluss verbessert und die Abrasionsresistenz erhöht werden, was in klinischen Studien nachgewiesen wurde (DICKINSON ET AL. 1990; DICKINSON & LEINFELDER 1993). Auch BERTRAND ET AL. (2000) zeigten in ihrer Studie, dass Oberflächenversiegler Defekte in der Oberfläche von polierten Kompositrestaurationen überdecken konnten. Durch den verbesserten Randschluss kann zudem das „microleakage“, also das Eindringen von Flüssigkeit zwischen Zahn und Restauration, reduziert werden (DOS SANTOS P H ET AL. 2008; RAMOS ET AL. 2002). ATTAR (2007) empfiehlt die Anwendung eines Oberflächenversieglers nach vorheriger Politur, jedoch nur an leicht zugänglichen und glatten Flächen. Durch das Auftragen eines Oberflächenversieglers kann bei provisorischen Füllungen die Bakterienanheftung stark verringert werden (PEREZ DAVIDI ET AL. 2007). Initial scheinen Oberflächenversiegler also zu guten Ergebnissen zu führen. Interessant ist aber vor allem das Verhalten solcher Oberflächenversiegler über mehrere Jahre. Bei einigen der genannten Studien (ATTAR 2007; BERTRAND ET AL. 2000; PEREZ DAVIDI ET AL. 2007) wurde keine künstliche Alterung durchgeführt, sodass nur wenige Informationen über die Beständigkeit der Versiegler vorliegen.

In den Studien, in denen eine Alterung simuliert wurde, zeigte sich keine Verschlechterung der Rauigkeitswerte (CATELAN ET AL. 2010). Bei CILLI ET AL. (2009) war bei den meisten getesteten Gruppen sogar eine Abnahme der Rauigkeitswerte nach der Alterung zu beobachten, dies allerdings sowohl bei polierten und anschliessend versiegelten Proben, wie auch bei ausschliesslich polierten Proben. Daher wurde die zusätzliche Anwendung eines Oberflächenversieglers aufgrund des

höheren Zeitaufwandes und der guten Polierbarkeit heutiger Kompositmaterialien als überflüssig bezeichnet.

Andere Studien hingegen konnten bei maschinell polierten Proben keine Verbesserung der Oberflächenrauigkeit durch das Auftragen eines Oberflächenversieglers feststellen (LOPES ET AL. 2012). So wurde die langfristige Adhäsion von Oberflächenversiegeln als fragwürdig bezeichnet (ZIMMERLI ET AL. 2010).

Vorteile von Oberflächenversiegeln sind die einfache Anwendbarkeit und die Zeitersparnis, sofern auf eine vorgängige Politur des Komposits verzichtet wird. Nachteile hingegen sind die zusätzlichen Kosten und eine Verlängerung der Behandlungszeit, wenn die Applikation nach vorgängig durchgeführter Politur erfolgt.

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Versuchsplan**

Der Versuchsplan ist in Abbildung 1 dargestellt. Je 70 Proben eines Mikrohybridkomposits (Filtek Z250; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) und eines nanogefüllten Komposits (Filtek Supreme XT; 3M ESPE) wurden mit 320 grit Siliciumcarbidpapier angeschliffen und randomisiert auf jeweils sieben Gruppen aufgeteilt, in welchen sie durch unterschiedliche Politurverfahren weiterbearbeitet wurden. Die polierten Proben wurden einer künstlichen Alterung unterzogen, die in drei Phasen durchlaufen wurde. In jeder Phase wurden die Proben in Ethanol gelagert (zwischen 48 h und 112 h), in ein Wasserbad getaucht (24 h), mit einer Bürstmaschine gebürstet (zwischen 60 min und 140 min) und einer Thermowechselbelastung (zwischen 600 und 1400 Zyklen) ausgesetzt. Vor, während und nach der künstlichen Alterung wurden der Oberflächenglanz und die Rauigkeit gemessen und Bilder im Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgenommen.

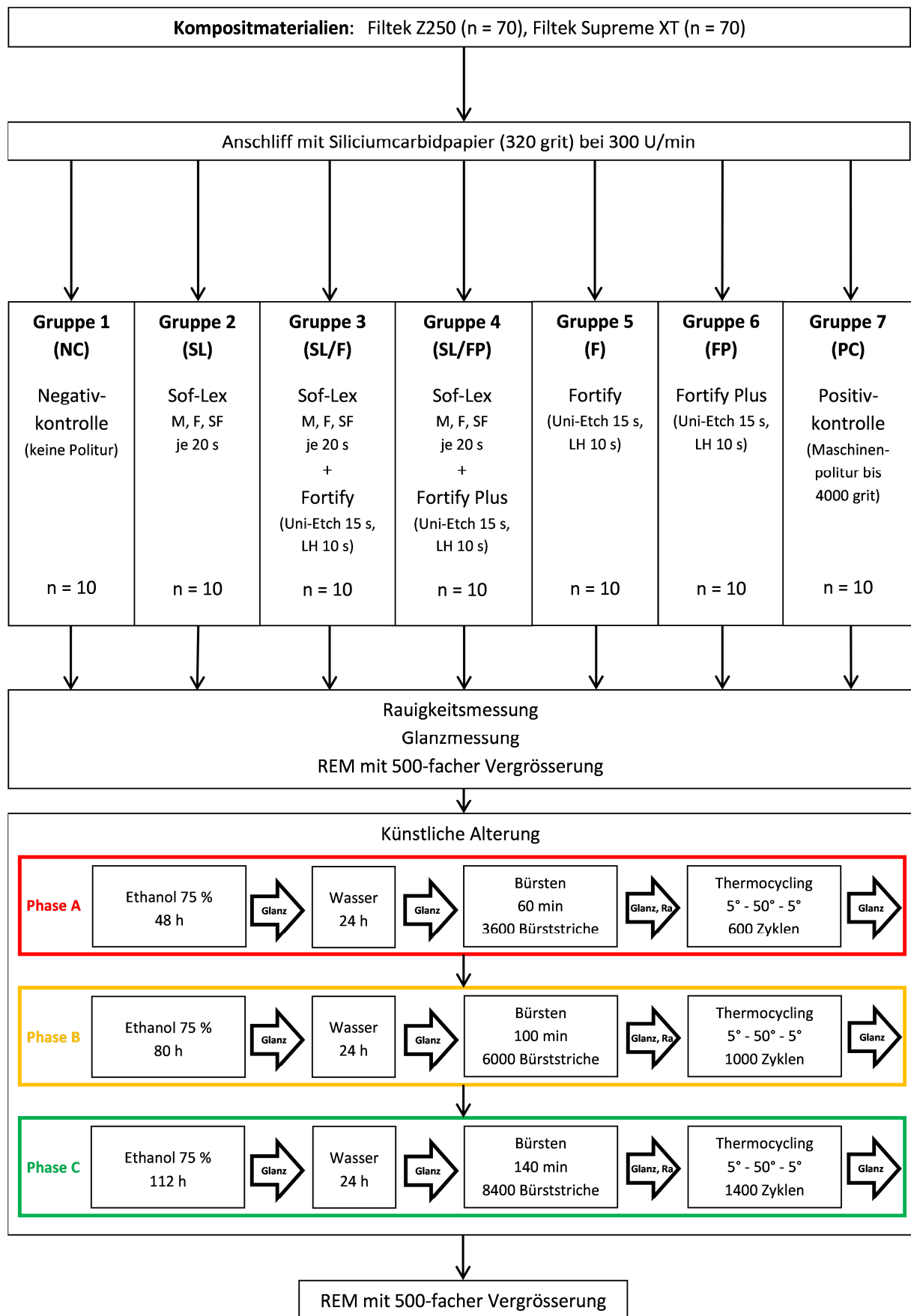


Abb. 1: Versuchsplan

M: Mittel; F: Fein; SF: Sehr fein; LH: Lichthärtung

### 3.2 Probenherstellung

Aus einem Mikrohybridkomposit (Filtek Z250) und einem nanogefüllten Kompositmaterial (Filtek Supreme XT) wurden je 70 Proben hergestellt. Die jeweilige Zusammensetzung nach Herstellerangaben ist in Tabelle 1 ersichtlich. Das Komposit wurde dabei in zwei Schichten in runde Teflonformen (Durchmesser: 12.5 mm; Höhe: 2.5 mm) appliziert. Jede Schicht wurde 40 s im Abstand von 1 mm lichtgehärtet. Die Lichthärtung erfolgte mit einer LED-Polymerisationslampe (Bluephase G2; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) bei 1200 mW/cm<sup>2</sup>. Die Lichtintensität der Polymerisationslampe wurde regelmässig mit einem Optilux Modell 100 Radiometer (SDS Kerr, Danbury, CT, USA) überprüft. Die Kompositproben wurden danach zusätzlich in einem Lichthärtegerät (Spectramat; Ivoclar Vivadent) für 5 min nachgehärtet. Anschliessend wurden die Proben in Epoxidharz (Stycast 1266; Emerson & Cuming Europe, Belgien) eingebettet und auf einem Rasterelektronenmikroskop (REM)-Träger (BAL-TEC, Balzers, Liechtenstein) befestigt. Dieser diente nicht nur der Fixierung der Proben im REM, sondern stellte auch eine korrekte, standardisierte Positionierung in den verschiedenen Versuchs- und Messapparaturen sicher. Dadurch konnten Messungen in Bürstrichtung und in einem Winkel von 90° zur Bürstrichtung durchgeführt werden.

Tab. 1 – Kompositmaterialien

| Produkt                      | Füller   | Fülleranteil<br>(Gew.-%/<br>Vol.-%) | Matrix                                  | Hersteller                       |
|------------------------------|--|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| <b>Filtek Z250</b>           | 0.01-3.5 µm ZrO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>   | 82 / 60                             | Bis-GMA,<br>UDMA,<br>TEGDMA,<br>Bis-EMA | 3M ESPE, St.<br>Paul,<br>MN, USA |
| <b>Filtek<br/>Supreme XT</b> | 0.6-1.4 µm ZrO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> -<br>Cluster mit 5-20 nm<br>primärer Partikelgrösse;<br>20 nm SiO <sub>2</sub> -Nanofüller | 78.5 / 63.3                         | Bis-GMA,<br>UDMA,<br>TEGDMA,<br>Bis-EMA | 3M ESPE, St.<br>Paul,<br>MN, USA |

Bis-GMA: Bisphenol-A-Diglycidyl-Methacrylat; UDMA: Urethandimethacrylat; Bis-EMA: Bisphenol-A ethoxyliertes Dimethacrylat; TEGDMA: Triethylen-Glycol-Dimethacrylat

### 3.3 Vorbehandlung

Alle Proben wurden für 30 s in einer Poliermaschine (Planopol; Struers, Kopenhagen, Dänemark) mit Siliciumcarbidpapier (320 grit) bei 300 Umdrehungen pro Minute (U/min) mit Wasserkühlung angeschliffen. Danach wurden sie randomisiert auf jeweils sieben Gruppen (entsprechend dem Politurverfahren) verteilt:

#### Gruppe 1: NC

Negativkontrolle. Nach dem Anschleifen auf 320 grit erfolgte keine weitere Politur oder Oberflächenbearbeitung.

#### Gruppe 2: SL

Politur mit Sof-Lex Polierscheiben (Tabelle 2). Die Proben wurden schrittweise je 20 s mit den Rauigkeitsstufen „Mittel“, „Fein“ und „Sehr fein“ poliert. Die Politur erfolgte bei 10'800 U/min mit einem blauen Winkelstück mit Wasserkühlung und einer manuellen Anpresskraft von 0.4 N. Die während der gesamten Politurdauer applizierte Anpresskraft wurde mit einer Waage (8600A Digital Multimeter Specifications; Kontron Electronic, Zürich, Schweiz) überprüft.

#### Gruppe 3: SL/F

Zunächst wurden die Proben mit Sof-Lex Scheiben poliert (siehe Gruppe 2). Danach wurden die Proben für 15 s mit 32% Phosphorsäure (Uni-Etch; Bisco, Schaumburg, IL, USA) geätzt. Der ungefüllte Oberflächenversiegler Fortify (Tabelle 3) wurde mittels Mikrobrush appliziert und entsprechend den Herstellerangaben für 10 s lichtgehärtet.

**Gruppe 4: SL/FP**

Zunächst wurden die Proben mit Sof-Lex Scheiben poliert (siehe Gruppe 2). Danach wurden die Proben 15 s mit 32% Phosphorsäure (Uni-Etch; Bisco, Schaumburg, IL, USA) geätzt. Der gefüllte Oberflächenversiegler Fortify Plus (Tabelle 3) wurde mit den mitgelieferten Aufsätzen appliziert und entsprechend den Herstellerangaben für 10 s lichtgehärtet.

**Gruppe 5: F**

Die Proben wurden 15 s mit Uni-Etch geätzt. Der ungefüllte Oberflächenversiegler Fortify wurde mittels Mikrobrush appliziert und entsprechend den Herstellerangaben für 10 s lichtgehärtet.

**Gruppe 6: FP**

Die Proben wurden 15 s mit Uni-Etch geätzt. Der gefüllte Oberflächenversiegler Fortify Plus wurde mit den mitgelieferten Aufsätzen appliziert und entsprechend den Herstellerangaben für 10 s lichtgehärtet.

**Gruppe 7: PC**

Positivkontrolle. Die Proben wurden einer maschinellen Hochglanzpolitur (Planopol; Struers, Kopenhagen, Dänemark) mit Siliciumcarbidpapier unterzogen. 10 s Politur mit 1200 grit, danach 10 s mit 2400 grit und abschliessend 20 s mit 4000 grit bei 300 U/min mit Wasserkühlung.

Tab. 2 – Polierinstrumente

| Produkt                           | Abrasiv       | Stärke    | Körnung (µm) | Hersteller                       |
|-----------------------------------|---------------|-----------|--------------|----------------------------------|
| <b>Sof-Lex<br/>Polierscheiben</b> | Aluminiumoxid | Mittel    | 10-40        | 3M ESPE,<br>St .Paul,<br>MN, USA |
|                                   |               | Fein      | 3-9          |                                  |
|                                   |               | Sehr fein | 1-7          |                                  |

Tab. 3 – Oberflächenversiegler

| Produkt             | Zusammensetzung                                   | Hersteller                 |
|---------------------|---|----------------------------|
| <b>Fortify</b>      | UDMA, Bis-EMA                                     | Bisco, Schaumburg, IL, USA |
| <b>Fortify Plus</b> | UDMA, Bis-EMA,<br>amorphes SiO <sub>2</sub> (30%) | Bisco, Schaumburg, IL, USA |

UDMA: Urethandimethacrylat; Bis-EMA: Bisphenol-A ethoxyliertes Dimethacrylat; SiO<sub>2</sub>: Siliciumdioxid



### 3.4 Künstliche Alterung

Nach der Oberflächenbehandlung wurden die Proben thermomechanisch in drei Phasen gealtert (siehe Abbildung 1).

In Phase A wurden die Proben für 48 h in eine Ethanollösung (75 Vol.-%) gelegt. Darauf folgte ein 24-stündiges Bad in 37°C warmem Wasser. Anschliessend wurden die Proben mit einer Bürstmaschine (PPK, Zürich, Schweiz) 60 min lang gebürstet (3600 Bürststriche). Dafür wurde ein Slurry aus künstlichem Speichel und Zahnpasta (Colgate Total; RDA 80, Colgate-Palmolive, Herstal, Belgien) im Verhältnis 1.6 : 1 verwendet. Die Proben wurden mit einer Paro M43 medium Zahnbürste (Esro, Kilchberg, Schweiz) bei einer Anpresskraft von 2.5 N gebürstet. Danach erfolgte ein Thermocycling, wobei die Proben abwechselnd für 2 min in 5°C kaltem und anschliessend für 2 min in 50°C heissem Wasser gelagert wurden, was einem Zyklus entsprach. 600 Zyklen wurden durchgeführt (Gesamtzeit: 40 h).

In Phase B wurden die Proben für 80 h in eine Ethanollösung (75 Vol.-%) gelegt. Darauf folgte wieder ein 24-stündiges Wasserbad (37°C). Anschliessend wurden die Proben 100 min gebürstet (6000 Bürststriche) bevor das Thermocycling erfolgte (1000 Zyklen; Gesamtzeit: 66 h 40 min).

In Phase C wurden die Proben für 112 h in eine Ethanollösung (75 Vol.-%) gelegt. Ein 24-stündiges Bad in 37°C warmen Wasser folgte. Wiederum wurden die Proben gebürstet, dieses Mal 140 min lang (8400 Bürststriche). Zum Schluss erfolgte noch ein letztes Thermocycling (1400 Zyklen; Gesamtzeit: 93 h 20 min).

### 3.5 Glanzmessung

Alle Proben wurden mit einem Glanzmessgerät (ZGM 1020; Zehntner, Sissach, Schweiz) gemessen. Dabei wurde ein Mini-Messkopf  $45^\circ$  verwendet, bei welchem ein Lichtstrahl in einem  $45^\circ$ -Winkel auf die Probe eintrifft und die Reflexion gemessen wird. Das Gerät wurde zur Eichung mit einer Kalibrierplatte auf einen Referenzwert von 54.7 GU (Gloss units/Glanzeinheiten) eingestellt. Es erfolgten jeweils drei Messungen senkrecht zur Bürstrichtung und drei Messungen in Bürstrichtung. Aus diesen sechs Werten, pro Probe und Messzeitpunkt, wurde der Mittelwert errechnet und für die Statistik verwendet.

Die Zeitpunkte der Glanzmessungen sind im Versuchsplan (Abbildung 1) ersichtlich.

### 3.6 Rauigkeitsmessung

Die Rauigkeitsmessungen wurden nach erfolgter Politur und nach jedem Bürstvorgang der drei Phasen der künstlichen Alterung durchgeführt. Der in dieser Arbeit ermittelte Rauigkeitswert  $R_a$ , auch mittlere Rauigkeit genannt, wird in  $\mu\text{m}$  angegeben und entspricht dem arithmetischen Mittel der Abweichung von der Mittellinie eines Oberflächenprofils.

Mit Hilfe eines Profilometers (Form-Talysurf 50; Taylor Hobson, Leicester, UK) wurden die  $R_a$ -Werte der Oberfläche aller Proben gemessen. Der Spitzenradius des Tasters betrug  $2\ \mu\text{m}$ . Die Messung erfolgte über eine Messstrecke von 3.6 mm mit einer Messgeschwindigkeit von 0.5 mm/s. Es erfolgten jeweils fünf Messungen senkrecht zur Bürstrichtung. Bei jeder Messung wurden die Proben um 0.5 mm in vertikaler Richtung verschoben. Von den fünf gemessenen Werten, pro Probe und Messzeitpunkt, wurde der Mittelwert errechnet und für die Statistik verwendet.

### 3.7 Rasterelektronenmikroskop (REM)

Von sämtlichen Proben wurde nach Politur und nach Abschluss der künstlichen Alterung ein Abdruck mit Silikon (President light body; Coltène Whaledent, Altstätten, Schweiz) gemacht. Von diesen Abdrücken wurden mit Epoxidharz (Stycast 1266; Emerson & Cuming Europe, Belgien) Replikas erstellt, welche mit einer Sputteranlage (SCD 030; Balzers Union, Balzers, Liechtenstein) für 120 s bei 45 mA mit Gold besputtert wurden. Die Goldschicht betrug ca. 18 nm. Im REM (Supra V50; Carl Zeiss, Göttingen, Deutschland) konnten danach Bilder mit 500-facher Vergrößerung aufgenommen werden, wobei die Elektronen mit einer Spannung von 5.00 kV beschleunigt wurden. Dadurch wurde die Oberflächenstruktur der Proben bildlich festgehalten.

### 3.8 Optische Analyse

Die Beurteilung der mit Oberflächenversiegler behandelten Proben während der künstlichen Alterung wurde optisch unter einem Stereomikroskop (Tessovar; Carl Zeiss, Feldbach, Schweiz) beurteilt. Dazu wurden die Proben der Gruppen, die mit den Oberflächenversiegler behandelt wurden, unmittelbar nach Applikation (vor der Alterung) und am Ende jeder Alterungsphase (Ende Phase A, B, C) analysiert. Jede Probe wurde optisch beurteilt und anschliessend wurden Mittelwerte für jede Gruppe gebildet. Dabei wurde der Abtrag des Oberflächenversieglers mittels einer vierstufigen Skala bewertet (CILLI ET AL. 2009):

3 = 100% des Oberflächenversieglers vorhanden

2 = mehr als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

1 = weniger als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

0 = Oberflächenversiegler komplett entfernt

### 3.9 Statistische Analyse

Sämtliche Daten wurden mit SPSS Version 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) analysiert. Zunächst wurden deskriptive Statistiken (Mittelwerte und Standardabweichungen) berechnet. Die Gültigkeit der Annahme der Normalverteilung wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests und des Shapiro-Wilk Tests überprüft. Um den Einfluss der beiden Faktoren „Kompositmaterial“ und „Politurverfahren“ auf den Oberflächenglanz und die Rauigkeit (jeweils vor und nach künstlicher Alterung) zu überprüfen, wurde eine zwei-faktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

Durch ein-faktorielle ANOVAs mit Scheffé Post-Hoc Test konnten die Unterschiede in Glanz und Rauigkeit (vor und nach künstlicher Alterung) zwischen den Politurverfahren für beide Kompositmaterialien separat untersucht werden. Unterschiede im Oberflächenglanz und in der Rauigkeit zwischen den Kompositmaterialien wurden innerhalb jeder Politurgruppe mittels des Mann-Whitney Tests analysiert. Der Effekt der künstlichen Alterung (Unterschiede in Glanz ( $\Delta GI$ ) und Rauigkeit ( $\Delta Ra$ ) vor und nach Alterung (Ende Phase C - Baseline)) wurde in jeder Behandlungsgruppe und jedem Material separat mit einem gepaarten t-Test untersucht. Resultate der statistischen Analyse mit p-Werten kleiner als 0.05 wurden als statistisch signifikant betrachtet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Glanz

Sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung wurde für die beiden Faktoren „Kompositmaterial“ und „Politurverfahren“ ein signifikanter Einfluss auf den erzielten Oberflächenglanz festgestellt (zwei-faktorielle Varianzanalyse,  $p < 0.001$ ). Während vor der künstlichen Alterung eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Kompositmaterial“ und „Politurverfahren“ zu beobachten war ( $p < 0.001$ ), ergab sich nach der künstlichen Alterung keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Faktoren mehr ( $p = 0.174$ ).

Abbildung 2 (für Filtek Z250) und Abbildung 3 (für Filtek Supreme XT) zeigen den Verlauf der Glanzwerte der verschiedenen Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten. In Tabelle 4 wurden zudem die Mittelwerte des Oberflächenglanzes der untersuchten Kompositmaterialien vor, während und nach künstlicher Alterung zusammengefasst.

Bei Filtek Z250 (Abbildung 2 und Tabelle 4) zeigte die Gruppe NC (ohne weitere Oberflächenbehandlung) sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung die signifikant niedrigsten Glanzwerte. Die Gruppen SL/F (Sof-Lex Polierscheiben und Fortify-Oberflächenversiegler) und F (nur Fortify-Oberflächenversiegler) wiesen vor der Alterung den höchsten Glanz auf und die Gruppe PC (maschinelle Hochglanzpolitur) nach Abschluss der Alterung.

Bei Filtek Supreme XT war der Oberflächenglanz sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung in Gruppe NC am niedrigsten. Die höchsten Glanzwerte waren vor der künstlichen Alterung in den Gruppen PC, SL/F und F zu finden. Nach Abschluss der künstlichen Alterung wies die Gruppe PC den signifikant höchsten Glanzwert auf (Abbildung 3 und Tabelle 4). Beim Vergleich der Glanzwerte zwischen den beiden Kompositmaterialien zeigten die Proben von Filtek Supreme XT vor künstlicher Alterung in den Gruppen NC, SL (nur Sof-Lex Polierscheiben) und PC signifikant höhere Glanzwerte als die Proben von Filtek Z250 (Tabelle 4). Nach künstlicher Alterung war dies in den Gruppen NC, SL/FP (Sof-Lex und Fortify Plus-Oberflächenversiegler) und F der Fall.

Die mit dem gefüllten Fortify Plus-Oberflächenversiegler behandelten Gruppen SL/FP und FP zeigten nach der Politur bei beiden Kompositmaterialien mittlere Glanzwerte (Abbildungen 2 und 3). Doch bereits mit dem ersten Ethanolbad nahm der Oberflächenglanz stark ab. Nach Abschluss des ersten Bürstvorganges stiegen die Werte wieder an. Bis zum Abschluss des Alterungsprozesses (Ende Phase C) war eine erneute Abnahme des Oberflächenglanzes in den Gruppen SL/FP und FP zu beobachten. Nach Abschluss der künstlichen Alterung hatte bei beiden Kompositmaterialien die Gruppe FP, verglichen mit den restlichen klinisch verwendeten Politurverfahren, die niedrigsten Glanzwerte (Tabelle 4).

Für die mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler Fortify behandelten Gruppen SL/F und F ergaben sich vor der künstlichen Alterung, unabhängig vom Kompositmaterial, die höchsten Glanzwerte (Tabelle 4). Allerdings nahmen die Werte bereits nach dem ersten Bürstvorgang stark ab (Abbildungen 2 und 3). Nach Abschluss der künstlichen Alterung hatten die mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler behandelten Gruppen SL/F und F im Vergleich zu den Werten vor der Alterung am meisten an Glanz verloren. Unabhängig vom Kompositmaterial waren die Glanzwerte vor künstlicher Alterung in den mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler Fortify behandelten Gruppen SL/F und F signifikant höher als jene der Gruppen SL/FP und FP, die mit dem gefüllten Oberflächenversiegler Fortify Plus behandelt wurden. Nach Abschluss der künstlichen Alterung waren die Unterschiede nicht mehr signifikant. Lediglich die Gruppe F wies nach künstlicher Alterung noch signifikant höhere Glanzwerte auf als Gruppe FP (Filtek Supreme XT). Ob die mit Oberflächenversiegler behandelten Gruppen vorgängig mit Sof-Lex Discs poliert wurden oder nicht, machte für die Glanzwerte sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung keinen signifikanten Unterschied. Einzige Ausnahme war Gruppe SL/FP bei Filtek Supreme XT, welche nach künstlicher Alterung signifikant höhere Glanzwerte zeigte als Gruppe FP.

Unmittelbar nach der Politur zeigte die nur mit Sof-Lex Discs polierte Gruppe SL bei beiden Kompositmaterialien den tiefsten Oberflächenglanz unter den klinisch verwendeten Politurverfahren. Als einzige Gruppe wies sie jedoch nach Abschluss der künstlichen Alterung signifikant höhere Glanzwerte auf als davor. Die Werte stiegen jeweils bei jedem Bürstvorgang an. Nach Abschluss der künstlichen Alterung hatte die Gruppe SL bei beiden Kompositmaterialien den höchsten Oberflächenglanz unter den klinisch verwendeten Politurverfahren.

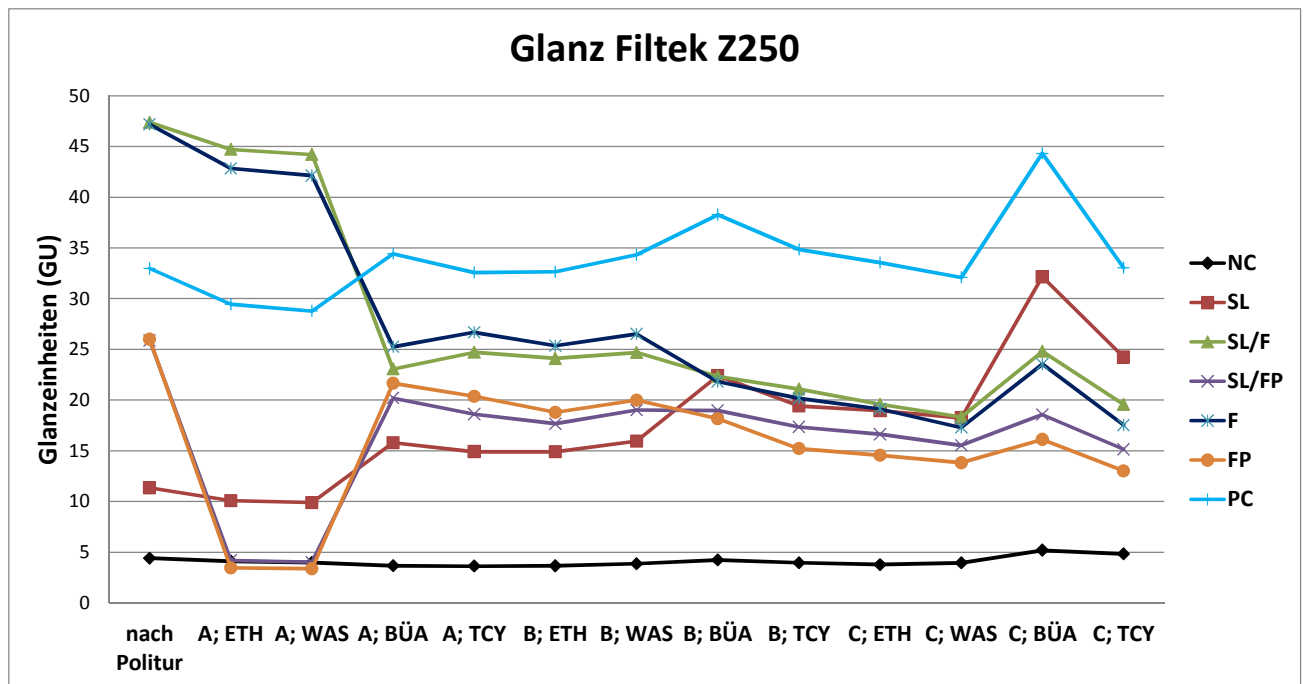


Abb. 2: Oberflächenglanz (Mittelwerte in Gloss Units, GU) von Filtek Z250 zu den jeweiligen Messzeitpunkten  
 ETH: Ethanol; WAS: Wasser; BÜA: Bürstabrasion; TCY: Thermocycling  
 A, B und C zeigen die jeweilige Phase der künstlichen Alterung an  
 NC: Negativkontrolle (320 grit SiC-Papier); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify;  
 SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus; F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit SiC-Papier)

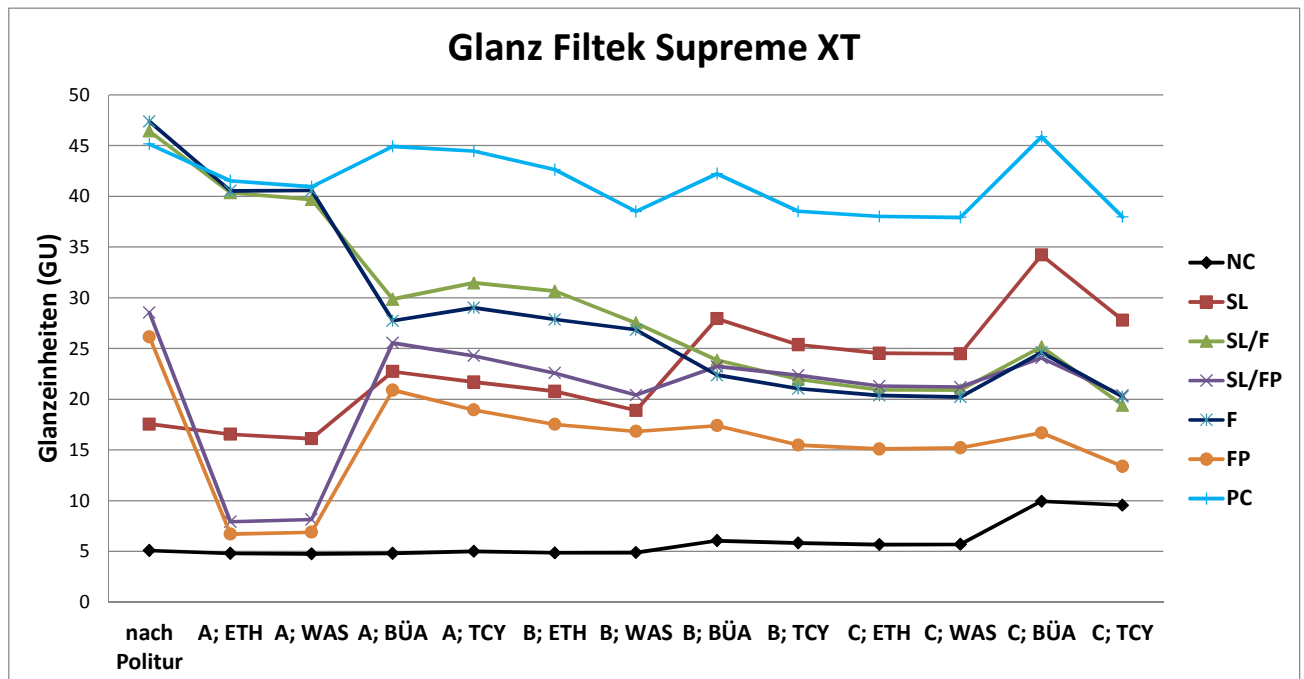


Abb. 3: Oberflächenglanz (Mittelwerte in Gloss Units, GU) von Filtek Supreme XT zu den jeweiligen Messzeitpunkten (Abkürzungen siehe Abb. 2)

Tab. 4 – Mittelwerte ( $\pm$  Standardabweichungen) der Glanzwerte (GU) der Kompositmaterialien zu den verschiedenen Messzeitpunkten (n = 10).

| Material          | Gruppe | BAS           |                | Phase A       |               |               |               | Phase B       |               |               |               | Phase C       |               |               |               |                 | ΔGI             |
|-------------------|--------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
|                   |        |               |                | ETH           | WAS           | BÜA           | TCY           | ETH           | WAS           | BÜA           | TCY           | ETH           | WAS           | BÜA           | TCY           |                 |                 |
| Filtek Z250       | NC     | 4.4<br>(0.4)  | <sup>b</sup> E | 4.1<br>(0.4)  | 4.0<br>(0.4)  | 3.7<br>(0.4)  | 3.6<br>(0.3)  | 3.7<br>(0.4)  | 3.9<br>(0.5)  | 4.2<br>(0.4)  | 4.0<br>(0.4)  | 3.8<br>(0.4)  | 3.9<br>(0.4)  | 5.2<br>(0.8)  | 4.8<br>(1.0)  | <sup>b</sup> E  | 0.4<br>(0.8)    |
|                   | SL     | 11.3<br>(1.1) | <sup>b</sup> D | 10.1<br>(1.1) | 9.9<br>(1.1)  | 15.8<br>(2.5) | 14.9<br>(2.1) | 14.9<br>(1.9) | 15.9<br>(1.9) | 22.4<br>(2.5) | 19.4<br>(3.4) | 18.9<br>(2.8) | 18.2<br>(2.9) | 32.2<br>(3.1) | 24.2<br>(4.6) | <sup>a</sup> B  | 12.9<br>(4.2)*  |
|                   | SL/F   | 47.4<br>(5.1) | <sup>a</sup> A | 44.7<br>(7.5) | 44.2<br>(7.6) | 23.1<br>(3.6) | 24.7<br>(3.3) | 24.1<br>(2.7) | 24.7<br>(2.4) | 22.3<br>(3.7) | 21.1<br>(4.1) | 19.6<br>(3.6) | 18.3<br>(3.2) | 24.8<br>(5.8) | 19.6<br>(5.2) | <sup>a</sup> BC | -27.8<br>(7.9)* |
|                   | SL/FP  | 25.9<br>(5.0) | <sup>a</sup> C | 4.2<br>(2.1)  | 4.0<br>(1.9)  | 20.2<br>(2.6) | 18.6<br>(3.1) | 17.7<br>(2.5) | 19.0<br>(2.9) | 19.0<br>(2.1) | 17.3<br>(2.6) | 16.6<br>(2.1) | 15.5<br>(1.1) | 18.6<br>(2.8) | 15.1<br>(1.7) | <sup>b</sup> CD | -10.8<br>(5.0)* |
|                   | F      | 47.2<br>(4.7) | <sup>a</sup> A | 42.8<br>(5.8) | 42.1<br>(5.1) | 25.3<br>(2.8) | 26.7<br>(2.6) | 25.3<br>(3.5) | 26.5<br>(2.5) | 21.8<br>(3.0) | 20.2<br>(3.2) | 19.1<br>(2.6) | 17.3<br>(2.9) | 23.5<br>(3.7) | 17.5<br>(2.5) | <sup>b</sup> CD | -29.7<br>(4.8)* |
|                   | FP     | 26.0<br>(1.8) | <sup>a</sup> C | 3.4<br>(0.8)  | 3.4<br>(0.7)  | 21.7<br>(2.6) | 20.4<br>(2.4) | 18.8<br>(2.9) | 20.0<br>(3.2) | 18.1<br>(2.8) | 15.2<br>(3.5) | 14.5<br>(3.1) | 13.8<br>(3.0) | 16.1<br>(3.2) | 13.0<br>(2.8) | <sup>a</sup> D  | -13.0<br>(3.0)* |
|                   | PC     | 33.0<br>(4.1) | <sup>b</sup> B | 29.4<br>(3.9) | 28.8<br>(3.5) | 34.4<br>(3.3) | 32.6<br>(2.9) | 32.6<br>(2.8) | 34.3<br>(3.0) | 38.3<br>(2.9) | 34.8<br>(3.3) | 33.5<br>(4.8) | 32.1<br>(5.5) | 44.3<br>(2.8) | 33.0<br>(5.7) | <sup>a</sup> A  | 0.0<br>(6.5)    |
| Filtek Supreme XT | NC     | 5.1<br>(0.6)  | <sup>a</sup> D | 4.8<br>(0.6)  | 4.8<br>(0.6)  | 4.8<br>(0.8)  | 5.0<br>(0.8)  | 4.9<br>(0.8)  | 4.9<br>(0.7)  | 6.1<br>(1.2)  | 5.8<br>(1.0)  | 5.7<br>(0.9)  | 5.7<br>(0.9)  | 10.0<br>(2.0) | 9.6<br>(1.9)  | <sup>a</sup> E  | 4.5<br>(1.5)*   |
|                   | SL     | 17.6<br>(1.0) | <sup>a</sup> C | 16.6<br>(1.2) | 16.1<br>(1.2) | 22.7<br>(2.7) | 21.7<br>(2.4) | 20.8<br>(2.2) | 18.9<br>(2.5) | 28.0<br>(2.5) | 25.4<br>(2.1) | 24.5<br>(2.8) | 24.5<br>(2.8) | 34.2<br>(2.4) | 27.8<br>(4.5) | <sup>a</sup> B  | 10.2<br>(5.1)*  |
|                   | SL/F   | 46.4<br>(4.6) | <sup>a</sup> A | 40.4<br>(4.3) | 39.7<br>(3.1) | 29.9<br>(2.7) | 31.5<br>(3.3) | 30.7<br>(3.2) | 27.5<br>(4.3) | 23.9<br>(3.2) | 22.0<br>(2.5) | 20.9<br>(2.6) | 20.9<br>(2.5) | 25.2<br>(5.8) | 19.4<br>(6.2) | <sup>a</sup> CD | -27.0<br>(8.9)* |
|                   | SL/FP  | 28.5<br>(5.6) | <sup>a</sup> B | 7.9<br>(5.6)  | 8.2<br>(5.9)  | 25.6<br>(1.9) | 24.3<br>(1.8) | 22.6<br>(1.4) | 20.4<br>(2.6) | 23.2<br>(3.8) | 22.4<br>(3.7) | 21.3<br>(4.2) | 21.2<br>(4.3) | 24.1<br>(6.3) | 20.4<br>(4.9) | <sup>a</sup> C  | -8.1<br>(9.5)*  |
|                   | F      | 47.4<br>(3.6) | <sup>a</sup> A | 40.5<br>(4.4) | 40.6<br>(3.5) | 27.7<br>(4.1) | 29.0<br>(4.1) | 27.9<br>(3.8) | 26.9<br>(4.1) | 22.4<br>(3.3) | 21.0<br>(3.3) | 20.4<br>(3.1) | 20.2<br>(3.0) | 24.6<br>(3.4) | 20.2<br>(3.2) | <sup>a</sup> C  | -27.2<br>(5.0)* |
|                   | FP     | 26.1<br>(6.7) | <sup>a</sup> B | 6.7<br>(4.3)  | 6.9<br>(4.7)  | 20.9<br>(2.3) | 18.9<br>(2.6) | 17.5<br>(2.8) | 16.8<br>(2.9) | 17.4<br>(1.4) | 15.5<br>(1.6) | 15.1<br>(3.0) | 15.2<br>(3.2) | 16.7<br>(2.9) | 13.4<br>(3.4) | <sup>a</sup> DE | -12.7<br>(8.2)* |
|                   | PC     | 45.2<br>(4.8) | <sup>a</sup> A | 41.5<br>(3.4) | 41.0<br>(3.7) | 44.9<br>(4.0) | 44.5<br>(2.4) | 42.6<br>(2.2) | 38.5<br>(2.3) | 42.2<br>(4.0) | 38.5<br>(5.9) | 38.0<br>(5.9) | 37.9<br>(5.9) | 45.9<br>(2.2) | 38.0<br>(3.6) | <sup>a</sup> A  | -7.2<br>(6.8)*  |

BAS: Baseline (nach Politur); ETH: Ethanol; WAS: Wasser; BÜA: Bürstabrasion; TCY: Thermocycling; NC: Negativkontrolle (320 grit SiC-Papier); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify; SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus; F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit SiC-Papier).  $\Delta$ GI (Ende Phase C – Baseline) ist die Differenz des Glanzes vor und nach künstlicher Alterung, wobei positive Werte eine Glanzzunahme und negative Werte eine Glanzabnahme beschreiben. Werte mit \* kennzeichnen statistisch signifikante Differenzen ( $p < 0.05$ ) der Glanzwerte vor und nach künstlicher Alterung. Innerhalb jedes Kompositmaterials sind Werte gefolgt vom gleichen Grossbuchstaben in dieser Spalte nicht signifikant verschieden (Politurgruppen innerhalb eines Materials). Beim Vergleich der beiden Kompositmaterialien sind Werte der jeweiligen Politurgruppe gefolgt vom gleichen Kleinbuchstaben in dieser Spalte nicht signifikant verschieden (Kompositmaterial innerhalb einer Politurgruppe).



## 4.2 Rauigkeit

Sowohl vor als auch nach künstlicher Alterung wurde für den Faktor „Politurverfahren“ ein signifikanter Einfluss auf die Oberflächenrauigkeit festgestellt ( $p < 0.001$ ), nicht jedoch für den Faktor „Kompositmaterial“ ( $p = 0.841$  bzw.  $0.641$ ). Statistisch signifikante Interaktionen zwischen den beiden Faktoren wurden weder vor noch nach der künstlichen Alterung beobachtet ( $p > 0.05$ ).

Bei beiden Kompositmaterialien zeigte die maschinell polierte Negativkontrolle (Gruppe NC) vor der künstlichen Alterung die signifikant höchsten Ra-Werte. Die Positivkontrolle (Gruppe PC) wies die niedrigsten Werte auf (Abbildungen 4 und 5), wobei beim Filtek Z250 kein signifikanter Unterschied zu den Gruppen SL (nur Sof-Lex Discs) und F (nur Fortify-Oberflächenversiegler) bestand (Tabelle 5). Nach der künstlichen Alterung wiesen die auf Hochglanz polierten Proben der Gruppe PC bei beiden Kompositmaterialien den niedrigsten Ra-Wert auf, statistisch jedoch nicht signifikant verschieden zu den Werten der Gruppe SL. Die Rauigkeit der Gruppe NC nahm bei beiden Kompositmaterialien über die Dauer der künstlichen Alterung signifikant ab.

Die Gruppen SL/FP und FP, die mit dem gefüllten Oberflächenversiegler Fortify Plus behandelt wurden, zeigten bei beiden Kompositmaterialien bereits nach der Politur die höchste Rauigkeit unter den klinisch verwendeten Politurverfahren. Während der drei Phasen der künstlichen Alterung stiegen die Ra-Werte dieser Gruppen signifikant an. Auch nach Abschluss der Alterung ergaben sich für die mit dem gefüllten Oberflächenversiegler behandelten Proben (Gruppen SL/FP und FP) die höchsten Rauigkeitswerte unter den klinisch verwendeten Politurverfahren (Tabelle 5, Abbildungen 4 und 5).

Die niedrigsten Ra-Werte unter den klinisch verwendeten Politurverfahren erreichten bei beiden Kompositmaterialien nach der Politur die mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler Fortify behandelten Gruppen SL/F bzw. F sowie die Gruppe SL, welche ausschliesslich mit Sof-Lex Discs poliert wurde. Die Rauigkeit der Gruppen SL/F und F stieg während der künstlichen Alterung signifikant an. Die Ra-Werte der Gruppe SL zeigten während der gesamten Versuchsdauer die geringsten Veränderungen. Nach Abschluss der künstlichen Alterung hatten die Proben der Gruppe SL, unabhängig vom Kompositmaterial, die niedrigste Oberflächenrauigkeit

unter den klinisch verwendeten Politurverfahren, statistisch nicht signifikant verschieden von den Werten der Positivkontrolle (Gruppe PC).

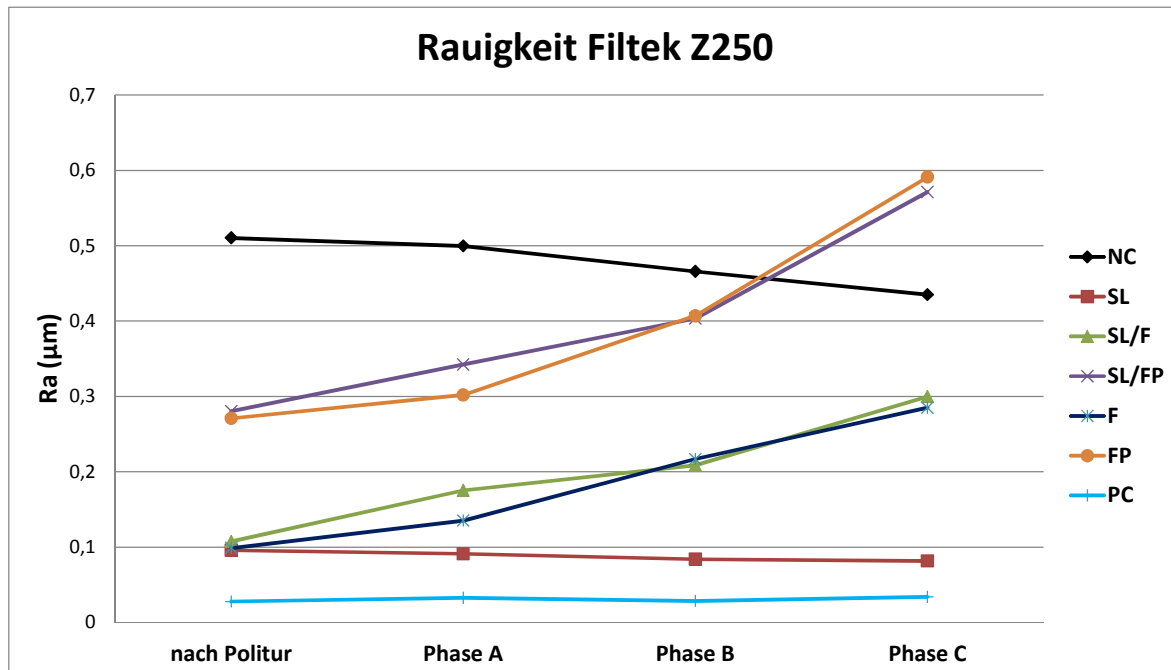


Abb. 4: Mittlere Rauigkeitswerte (Ra; Mittelwerte in  $\mu\text{m}$ ) von Filtek Z250 zu den jeweiligen Messzeitpunkten

Phase A/B/C: Phasen der künstlichen Alterung

ETH: Ethanol; WAS: Wasser; BÜA: Bürstabrasion; TCY: Thermocycling;

NC: Negativkontrolle (320 grit SiC-Papier); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify;

SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus; F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit SiC-Papier)

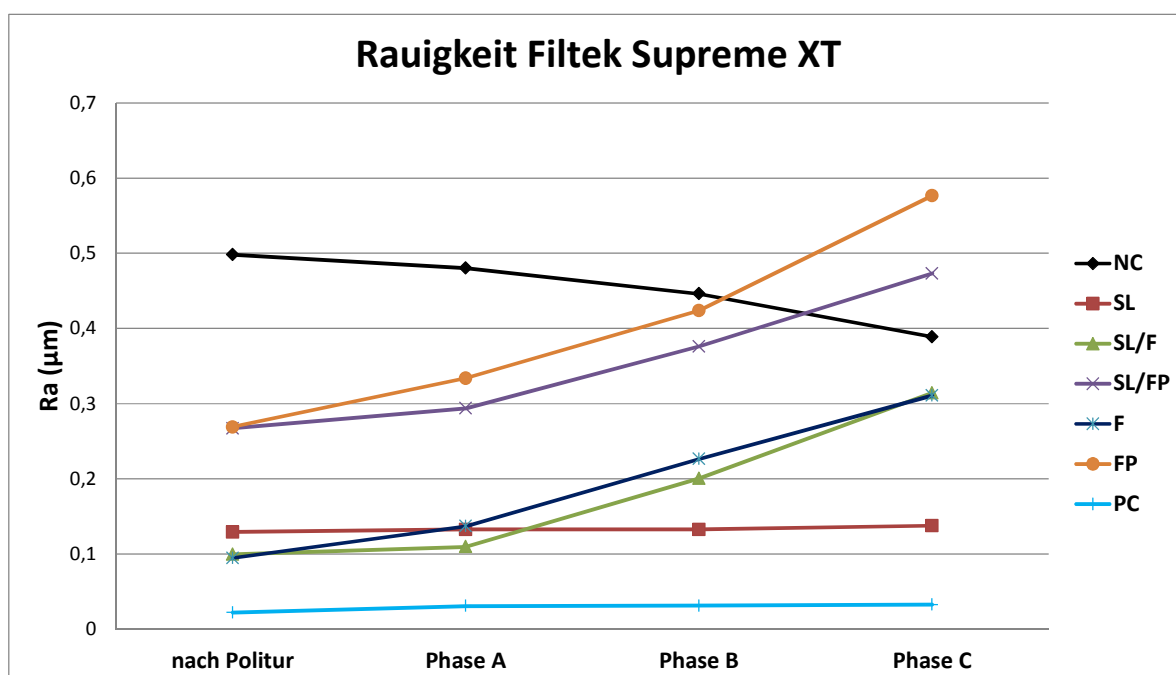


Abb. 5: Mittlere Rauigkeitswerte (Ra; Mittelwerte in  $\mu\text{m}$ ) von Filtek Supreme XT zu den jeweiligen Messzeitpunkten (Abkürzungen siehe Abb. 4)

Tab. 5 – Mittelwerte ( $\pm$  Standardabweichungen) der Oberflächenrauigkeit (Ra, in  $\mu\text{m}$ ) der getesteten Kompositmaterialien zu den verschiedenen Messzeitpunkten (n = 10)

| Material                 | Gruppe | BAS              |                        | Phase A          | Phase B          | Phase C          |                        | $\Delta\text{Ra}$  |
|--------------------------|--------|------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Filtek Z250</b>       | NC     | 0.510<br>(0.100) | <sup>a</sup> <b>D</b>  | 0.500<br>(0.100) | 0.466<br>(0.097) | 0.435<br>(0.095) | <sup>a</sup> <b>BC</b> | -0.075<br>(0.027)* |
|                          | SL     | 0.096<br>(0.010) | <sup>a</sup> <b>AB</b> | 0.091<br>(0.012) | 0.084<br>(0.013) | 0.081<br>(0.015) | <sup>a</sup> <b>A</b>  | -0.015<br>(0.009)* |
|                          | SL/F   | 0.107<br>(0.017) | <sup>a</sup> <b>B</b>  | 0.175<br>(0.057) | 0.208<br>(0.057) | 0.300<br>(0.089) | <sup>a</sup> <b>B</b>  | 0.193<br>(0.100)*  |
|                          | SL/FP  | 0.280<br>(0.024) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.342<br>(0.089) | 0.403<br>(0.135) | 0.571<br>(0.162) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.291<br>(0.170)*  |
|                          | F      | 0.099<br>(0.015) | <sup>a</sup> <b>AB</b> | 0.135<br>(0.054) | 0.217<br>(0.178) | 0.285<br>(0.130) | <sup>a</sup> <b>B</b>  | 0.186<br>(0.129)*  |
|                          | FP     | 0.271<br>(0.056) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.302<br>(0.090) | 0.407<br>(0.117) | 0.591<br>(0.164) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.320<br>(0.154)*  |
|                          | PC     | 0.028<br>(0.004) | <sup>a</sup> <b>A</b>  | 0.033<br>(0.003) | 0.028<br>(0.002) | 0.034<br>(0.003) | <sup>a</sup> <b>A</b>  | 0.006<br>(0.005)*  |
| <b>Filtek Supreme XT</b> | NC     | 0.498<br>(0.081) | <sup>a</sup> <b>D</b>  | 0.480<br>(0.077) | 0.446<br>(0.076) | 0.389<br>(0.072) | <sup>a</sup> <b>CD</b> | -0.109<br>(0.034)* |
|                          | SL     | 0.129<br>(0.017) | <sup>b</sup> <b>B</b>  | 0.133<br>(0.016) | 0.133<br>(0.018) | 0.138<br>(0.015) | <sup>b</sup> <b>AB</b> | 0.009<br>(0.009)*  |
|                          | SL/F   | 0.100<br>(0.013) | <sup>a</sup> <b>B</b>  | 0.110<br>(0.032) | 0.200<br>(0.056) | 0.314<br>(0.088) | <sup>a</sup> <b>BC</b> | 0.214<br>(0.095)*  |
|                          | SL/FP  | 0.267<br>(0.050) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.294<br>(0.049) | 0.376<br>(0.102) | 0.473<br>(0.178) | <sup>a</sup> <b>CD</b> | 0.206<br>(0.148)*  |
|                          | F      | 0.095<br>(0.023) | <sup>a</sup> <b>B</b>  | 0.137<br>(0.043) | 0.226<br>(0.049) | 0.311<br>(0.052) | <sup>a</sup> <b>BC</b> | 0.216<br>(0.053)*  |
|                          | FP     | 0.269<br>(0.058) | <sup>a</sup> <b>C</b>  | 0.334<br>(0.070) | 0.424<br>(0.102) | 0.577<br>(0.215) | <sup>a</sup> <b>D</b>  | 0.308<br>(0.245)*  |
|                          | PC     | 0.022<br>(0.006) | <sup>a</sup> <b>A</b>  | 0.031<br>(0.004) | 0.031<br>(0.004) | 0.033<br>(0.003) | <sup>a</sup> <b>A</b>  | 0.011<br>(0.004)*  |

BAS: Baseline (nach Politur); NC: Negativkontrolle (320 grit SiC-Papier); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify; SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus; F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit SiC-Papier).  $\Delta\text{Ra}$  (Phase C – Baseline) ist die Differenz zwischen den Ra-Werten vor und nach künstlicher Alterung, wobei positive Werte eine Zunahme der Rauigkeit und negative Werte eine Abnahme der Rauigkeit beschreiben. Werte mit \* kennzeichnen statistisch signifikante Differenzen ( $p < 0.05$ ) der Ra-Werte vor und nach künstlicher Alterung. Innerhalb jedes Kompositmaterials sind Werte gefolgt vom gleichen Grossbuchstaben in dieser Spalte nicht signifikant verschieden (Politurgruppen innerhalb eines Materials). Beim Vergleich der beiden Kompositmaterialien sind Werte der jeweiligen Politurgruppe gefolgt vom gleichen Kleinbuchstaben in dieser Spalte nicht signifikant verschieden (Kompositmaterial innerhalb einer Politurgruppe).

### 4.3 REM-Bilder

In Abbildung 6 sind die mit dem Rasterelektronenmikroskop aufgenommenen Bilder zu sehen. Sie zeigen die Oberflächenstruktur der Proben vor bzw. nach thermomechanischer Alterung (Ende Phase C).

Die Negativkontrollen (NC) beider Kompositmaterialien wiesen nach der künstlichen Alterung (Abbildung 6a\* bzw. A\*) weniger tiefe Rillen in der Oberfläche auf als davor (Abbildung 6a bzw. A).

Die Positivkontrolle PC (Abbildung 6g/g\* bzw. G/G\*) und die Gruppe SL, die nur mit Sof-Lex Discs behandelt wurde (Abbildung 6b/b\* bzw. B/B\*), hatten sich während der künstlichen Alterung bezüglich des Oberflächenprofils kaum verändert.

Die mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler Fortify behandelten Gruppen SL/F und F zeigten vor der künstlichen Alterung eine homogene Versiegelungsschicht auf der Oberfläche (Abbildung 6c/e bzw. C/E). Nach der künstlichen Alterung waren z.T. deutliche Rillenbildungen infolge der Bürstabrasion sichtbar (Abbildung 6e\*). An einzelnen Stellen war der Oberflächenversiegler abgetragen und die unpolierte Oberfläche kam zum Vorschein (Abbildung 6E\*). Die körnigen Strukturen in Abbildung 6c sind durch Verunreinigungen entstandene Artefakte.

Bei den Gruppen SL/FP und FP, die mit dem gefüllten Oberflächenversiegler Fortify Plus behandelt wurden, war die oberflächliche Versiegelungsschicht vor der künstlichen Alterung weniger homogen im Vergleich zum ungefüllten Versiegler und leichte Wellenbildungen waren sichtbar (Abbildung 6D und F). Nach der künstlichen Alterung fehlten auch hier Teile des Oberflächenversieglers und die darunterliegende Oberfläche wurde sichtbar (Abbildung 6d\*/f\* bzw. D\*/F\*).

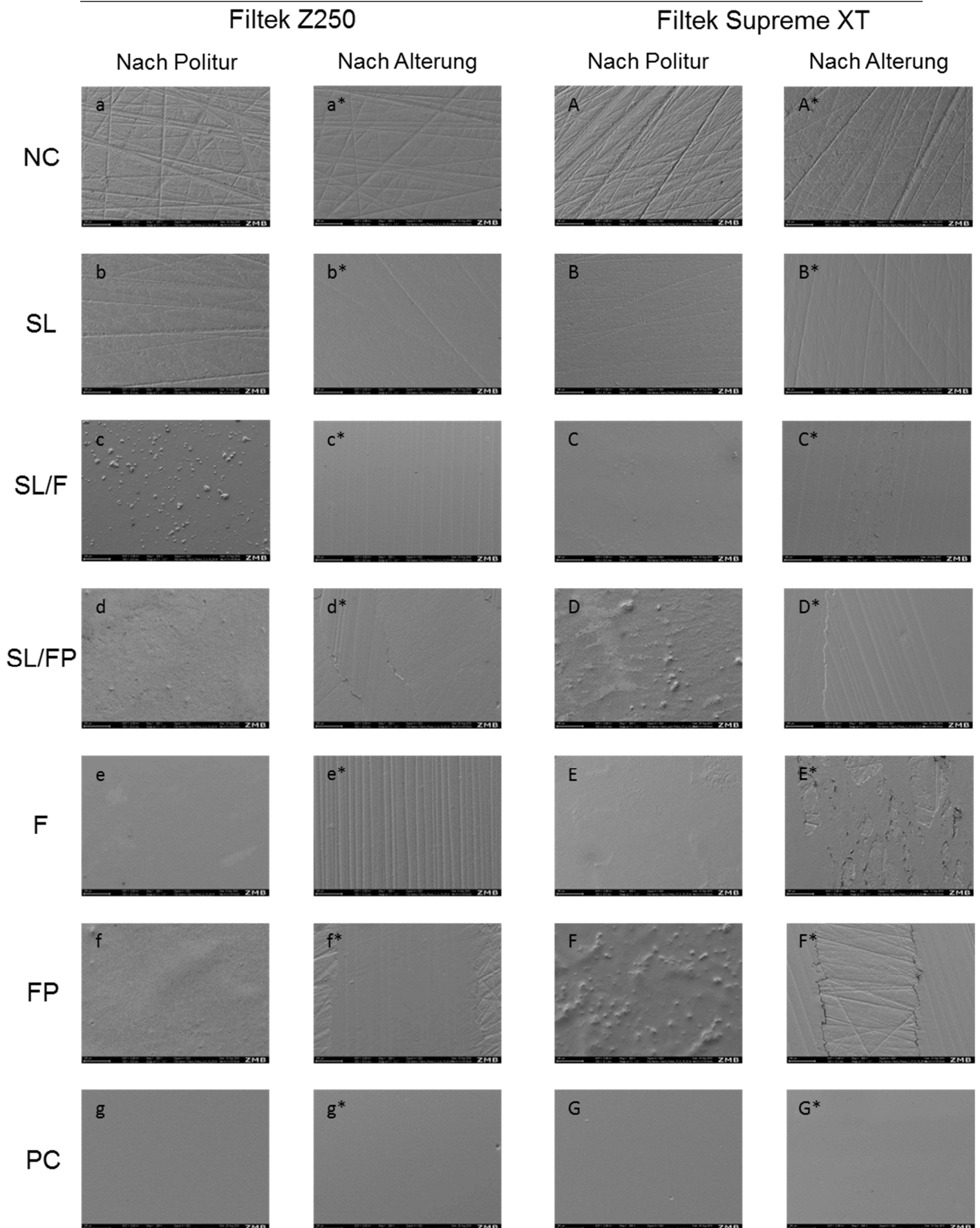


Abb. 6: Rasterelektronenmikroskop-Bilder aller Gruppen, vor bzw. nach thermomechanischer Alterung (500-fache Vergrößerung). NC: Negativkontrolle (320 grit); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify; SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus; F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit)

#### 4.4 Auswertung der optischen Analyse

Die Auswertung der optischen Analyse (Kapitel 3.8), bei welcher mittels Stereomikroskop eine Beurteilung über den Verbleib des Oberflächenversieglers auf den Kompositproben erfolgte, ist in Tabelle 6 dargestellt. Sie zeigt wie stark der Oberflächenversiegler bei den verschiedenen Gruppen zu den verschiedenen Zeitpunkten abgetragen wurde.

Vor der künstlichen Alterung waren bei sämtlichen Proben 100% des Oberflächenversieglers vorhanden. Der gefüllte Oberflächenversiegler Fortify Plus wurde bei beiden Kompositmaterialien früher und stärker entfernt als der ungefüllte Versiegler Fortify.

Tab. 6 – Entfernung des Oberflächenversieglers über die verschiedenen Phasen der künstlichen Alterung (Mittelwerte; entsprechend 4-stufiger Bewertungsskala (s. unten))

| Komposit          | Gruppe | Baseline<br>(nach Politur) | Ende<br>Phase A | Ende<br>Phase B | Ende<br>Phase C |
|-------------------|--------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Z250</b>       | SL/F   | 3.0                        | 2.6             | 2.5             | 2.1             |
|                   | SL/FP  | 3.0                        | 2.0             | 2.0             | 2.0             |
|                   | F      | 3.0                        | 2.6             | 2.3             | 2.2             |
|                   | FP     | 3.0                        | 2.2             | 2.0             | 2.0             |
| <b>Supreme XT</b> | SL/F   | 3.0                        | 2.4             | 2.3             | 2.0             |
|                   | SL/FP  | 3.0                        | 2.0             | 2.0             | 1.8             |
|                   | F      | 3.0                        | 2.3             | 2.2             | 2.0             |
|                   | FP     | 3.0                        | 2.0             | 1.9             | 1.8             |

3 = 100% des Oberflächenversieglers vorhanden

2 = mehr als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

1 = weniger als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

0 = Oberflächenversiegler komplett entfernt

NC: Negativkontrolle (320 grit); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify; SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus;

F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit)

Die prozentuale Verteilung der Proben auf der Bewertungsskala des Oberflächenversieglers nach künstlicher Alterung ist in Tabelle 7 ersichtlich. Nach Abschluss der künstlichen Alterung (Ende Phase C) waren bei allen Gruppen noch Teile des Oberflächenversieglers vorhanden. Ein komplettes Entfernen konnte bei keiner Probe festgestellt werden. Bei beiden Kompositmaterialien wies der Grossteil der Proben (zwischen 80 und 100%) nach künstlicher Alterung noch eine mehr als 50%ige Oberflächenbedeckung mit Versiegler auf.

Tab. 7 – Prozentuale Verteilung der Proben auf der Bewertungsskala des Oberflächenversieglers nach Abschluss der künstlichen Alterung (Phase C)

| Komposit          | Gruppe | Bewertungsskala des Oberflächenversieglers nach künstlicher Alterung (Ende Phase C) |      |     |    |
|-------------------|--------|---|------|-----|----|
|                   |        | 3   | 2    | 1   | 0  |
| <b>Z250</b>       | SL/F   | 10%   | 90%  | 0%  | 0% |
|                   | SL/FP  | 0%  | 100% | 0%  | 0% |
|                   | F      | 20%   | 80%  | 0%  | 0% |
|                   | FP     | 0%  | 100% | 0%  | 0% |
| <b>Supreme XT</b> | SL/F   | 0%  | 100% | 0%  | 0% |
|                   | SL/FP  | 0%  | 80%  | 20% | 0% |
|                   | F      | 0%  | 100% | 0%  | 0% |
|                   | FP     | 0%  | 80%  | 20% | 0% |

3 = 100% des Oberflächenversieglers vorhanden

2 = mehr als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

1 = weniger als 50% des Oberflächenversieglers vorhanden

0 = Oberflächenversiegler komplett entfernt

NC: Negativkontrolle (320 grit); SL: Sof-Lex; SL/F: Sof-Lex/Fortify; SL/FP: Sof-Lex/Fortify Plus;

F: Fortify; FP: Fortify Plus; PC: Positivkontrolle (4000 grit)

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion der Methodik

In der vorliegenden Arbeit wurden die Glanz- und Rauigkeitswerte unterschiedlich vorbehandelter Kompositproben vor und nach einer thermomechanischen Alterung untersucht. Die künstliche Alterung zeigte dabei, ob und wie stark sich die durch unterschiedliche Politurverfahren bearbeiteten Kompositproben über die Zeit bezüglich Glanz und Rauigkeitsprofil veränderten. Wichtiger Bestandteil dieser Arbeit war zudem herauszufinden, ob die Applikation eines Oberflächenversieglers nach vorgängig erfolgter Politur oder direkt auf die unbehandelten Kompositmaterialien langfristig sinnvoll ist.

Für die künstliche Alterung wurde ein Verfahren angewendet (Abbildung 1), bei welchem ein Zyklus in drei Phasen die Wasser- und Nahrungsaufnahme, Temperaturwechsel und die Mundhygiene simulieren sollte (BARUCCI-PFISTER & GÖHRING 2009).

Mit der Ethanollagerung sollte der Einfluss von alkoholischen Getränken, Süssigkeiten, Gemüse und Früchten simuliert werden (MCKINNEY & WU 1985). Dafür wurde 75 Vol.-% Ethanol verwendet, da bei diesem Gehalt, verglichen mit anderen Lösungen, der grösste Effekt der Degradation der Oberfläche beobachtet wurde, was zu einer reduzierten Härte und einem erhöhten Verschleiss führte (BARUCCI-PFISTER & GÖHRING 2009; MCKINNEY & WU 1985; YAP ET AL. 2001). Werden Kompositmaterialien zur Nahrungsmittelsimulation Lösungsmitteln ausgesetzt, so kommt es einerseits zur Degradation der Füller (SÖDERHOLM 1984) und andererseits zu einer Degradation am Füller/Matrix-Interface (FERRACANE & MARKER 1992). Die Verschleissbeständigkeit des Komposits wird durch das Aufweichen der organischen Matrix signifikant verringert (WU & MCKINNEY 1982).

Nach der Ethanollagerung wurden die Proben in 37°C warmem Wasser gelagert. Dies simulierte die Wasseraufnahme durch das Komposit wie sie im Mund unter natürlichen Bedingungen geschieht. Durch das Einlegen des Komposits in Wasser werden ungebundene Moleküle ausgewaschen und Wasser wird durch Diffusion in die Polymermatrix eingelagert (FERRACANE & CONDON 1990). Kompositmaterialien nehmen über die Zeit Wasser auf, dies führt zu einer Degradation der Füller/Matrix-



Verbindungen, wodurch sich der Verschleiss erhöht und zusätzlich eine Volumenzunahme stattfindet (HEINTZE & ZIMMERLI 2011).

Um den Einfluss der täglichen Mundhygiene nachzustellen, wurden die Proben mit einer Bürstmaschine und einem Slurry aus Zahnpasta und künstlichem Speichel insgesamt 300 min gebürstet. Laut BARUCCI-PFISTER & GÖHRING (2009) wird bei zweimaligem, täglichem Zähneputzen jede Fläche eines Zahns für 10 s gebürstet. Um Zahnbürsten- und Zahnpasta-bedingte Abrasionen von 5 Jahren zu simulieren, muss jede Probe folglich 300 min gebürstet werden.

Die Temperaturwechsel sollten den Konsum von heissen und kalten Nahrungsmitteln simulieren. Dies bewirkt eine Beschleunigung der Degradation des Komposits, vor allem bedingt durch die Aufnahme von Wasser durch die Polymermatrix (FARRACANE ET AL. 1998).

Zu den Limitationen der Studie zählen, dass der Einfluss der Kaukräfte, welche beim Zermahlen von Nahrung auftreten, nicht berücksichtigt wurde. Die Proben entsprachen auch nicht der typischen Zahnform, da sie flach und kreisförmig gestaltet waren. Die anatomische Form der Zähne mit ihren konvexen und konkaven Flächen, den Höckern, Fissuren und den oft schwierig zu erreichenden approximalen Stellen, erschwert eine Politur mit Sof-Lex Discs und das Auftragen eines Oberflächenversieglers zusätzlich. Zudem wurde nur mit einer Sorte Zahnbürsten geputzt und der Slurry nur mit einer Sorte Zahnpasta (Colgate Total, RDA 80) hergestellt. Zahnpasten mit anderen RDA-Werten könnten infolge einer Veränderung der Abrasivität der Zahnpasta zu anderen Ergebnissen bezüglich Rauigkeit und Glanz von Kompositrestaurationen führen. Wird eine Zahnpasta mit einem höheren RDA-Wert verwendet, führt dies zu einer schnelleren Glanzabnahme (McCABE ET AL. 2002). Auch eine Erhöhung bzw. Reduktion des Anpressdrucks der Bürsten könnte die Ergebnisse verändern. Das Abrasionspotential von Zahnbürsten wird durch die Anpresskraft der Bürste beeinflusst (GANSS ET AL. 2009; WIEGAND ET AL. 2007). Der Einfluss der Zahnbürste bezüglich des Abrasionspotentials ist jedoch wesentlich geringer als derjenige der Zahnpasta (WIEGAND ET AL. 2008, WIEGAND ET AL. 2009).

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Der durch die Politur einer Kompositrestauration entstandene Glanz und die Oberflächenrauigkeit sind wichtige Faktoren für das ästhetische Erscheinungsbild, die Resistenz gegen Verschleiss und die Langlebigkeit einer Füllung.

Unmittelbar nach der Politur war in unserer Studie ein deutlicher Unterschied der Rauigkeits- und Glanzwerte zwischen den mit dem gefüllten Oberflächenversiegler (Fortify Plus) behandelten Gruppen SL/FP bzw. FP und den mit dem ungefüllten Oberflächenversiegler (Fortify) behandelten Gruppen SL/F bzw. F zu beobachten. Die Gruppen SL/F und F zeigten sowohl beim Glanz als auch bei der Rauigkeit signifikant bessere Werte (Tabellen 4 und 5). Dies könnte daran liegen, dass sich der ungefüllte Fortify-Oberflächenversiegler einfacher und homogener auftragen liess, als der gefüllte und damit deutlich visköse Fortify Plus-Oberflächenversiegler. Bereits BERTRAND ET AL. (2000) beschrieben die Schwierigkeit, einen Oberflächenversiegler in einer gleichmässigen Schichtdicke aufzutragen. Die Applikation war insofern schwierig, als sich eine leichte Schichtbildung nicht verhindern liess und sich der Oberflächenversiegler nicht ganz gleichmässig über die Oberfläche verteilte. Dadurch war an einigen Stellen die Versiegelungsschicht dünner als an anderen Stellen, was an diesen Stellen vermutlich während der künstlichen Alterung zu einer schnelleren Abnutzung und dadurch zu niedrigeren Glanz- und höheren Rauigkeitswerten führte.

Nach Abschluss der künstlichen Alterung kam es zu einer Annäherung der Glanzwerte, dennoch waren die niedrigsten Glanz- bzw. die höchsten Rauigkeitswerte immer noch bei den mit Fortify Plus behandelten Gruppen zu finden.

Die Veränderung der Oberflächenrauigkeit ist insofern von entscheidender Bedeutung, als eine höhere Rauigkeit zu einer vermehrten Plaque-Akkumulation führt (BOLLEN ET AL. 1997). Ausserdem haben genannte Autoren einen Grenzwert von  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  (Ra) als kritische Oberflächenrauigkeit definiert. Bei Werten über dieser Grenze wird davon ausgegangen, dass das Risiko einer Gingivitis bzw. Parodontitis sowie von Sekundärkaries aufgrund stärkerer Plaqueanlagerung ansteigt (BOLLEN ET AL. 1997; QUIRYNEN ET AL. 1996). In unserer Studie wiesen unmittelbar nach Politur, unabhängig vom Kompositmaterial, nur die mit dem ungefüllten Fortify-Oberflächenversiegler behandelten Gruppen SL/F bzw. F sowie die mit Sof-Lex Discs polierte Gruppe SL Ra-Werte von  $< 0.2\text{ }\mu\text{m}$  und damit unterhalb des kritischen

Grenzwertes auf. Nach der künstlichen Alterung war dies lediglich noch bei der Gruppe SL der Fall. Die Abnutzung des Oberflächenversieglers führte dazu, dass das darunterliegende Kompositmaterial zum Vorschein kam. An den Übergängen entstanden scharfe Kanten was zu einem Anstieg der Rauigkeit während der künstlichen Alterung führte, der auch durch die REM-Bilder (Abbildung 6) bestätigt wurde.

Die Gruppe SL, die ausschliesslich mit Sof-Lex Discs poliert wurde, zeigte unabhängig vom Kompositmaterial nach der Politur tiefere Glanzwerte als die mit Oberflächenversiegler behandelten Gruppen (Tabellen 4 und 5). Es war die einzige Gruppe, unter den klinisch verwendeten Politurverfahren, bei der nach der künstlichen Alterung signifikant höhere Glanzwerte zu beobachten waren als davor. Die Werte stiegen jeweils nach jedem Bürstvorgang an (Abbildungen 3 und 4), so dass man hier von einem zusätzlichen Politureffekt, bedingt durch die Bearbeitung mit der Bürstmaschine, sprechen kann. Zudem verzeichneten die Proben der Gruppe SL beim Filtek Z250 nach Abschluss der künstlichen Alterung sogar eine signifikante Abnahme der Rauigkeit, was mit dem Einebnen der Oberflächenrauigkeiten durch den Bürsteffekt erklärt werden kann.

In unserer Studie führte die Politur mit Sof-Lex Discs zu niedrigen Rauigkeitswerten von  $< 0.2 \mu\text{m}$ . Dieses Ergebnis wird durch zahlreiche Studien (BARBOSA ET AL. 2005; BORGES 2004; CELIK & OZGÜNALYAY 2009; CHUNG 1994; DA COSTA ET AL. 2007; LU ET AL. 2003) bestätigt, in welchen die Politur unterschiedlicher Komposite mit flexiblen Aluminiumoxid-Discs stets niedrige Oberflächenrauigkeitswerte erzeugte, verglichen mit anderen Politursystemen. Aluminiumoxid-Discs führen zu einer ebenen Oberfläche, da sie Matrix- und Füllerpartikel gleichmässig abtragen (HERRGOTT ET AL. 1989; ROEDER ET AL. 2000; VAN DIJKEN & RUYTER 1989).

Die Oberflächenrauigkeit einer Restauration ist von der Zusammensetzung des Komposits abhängig (DA COSTA ET AL. 2010; NAGEM FILHO ET AL. 2003; ROEDER ET AL. 2000; TURSSI ET AL. 2000). Bei der Politur von Nanokompositen werden kleinere Partikel aus der Oberfläche herausgelöst und somit bleiben kleinere Hohlräume zurück als bei Hybridkompositen, was folglich zu einer glatteren Oberfläche führt (TURSSI ET AL. 2005). In unserer Studie konnten jedoch keine statistischen Unterschiede beim Vergleich der Rauigkeitswerte zwischen dem Mikrohybridkomposit (Filtek Z250) und dem nanogefüllten Komposit (Filtek Supreme XT)

gefunden werden, mit Ausnahme der Gruppe SL, die ausschliesslich mit Sof-Lex Discs poliert wurde (Tabelle 5). Dieses Resultat stimmt mit anderen Studien (ANTONSON ET AL. 2011; DA COSTA ET AL. 2007; GÖNÜLOL & YILMAZ 2012) überein, bei denen ebenfalls nanogefüllte bzw. mikrogefüllte Komposite und Mikrohybridkomposite verglichen und ähnliche Ergebnisse bezüglich der Oberflächenrauigkeit ermittelt wurden.

Die Anwendung von Oberflächenversiegeln wird kontrovers diskutiert. ATTAR (2007) empfiehlt die Applikation eines Oberflächenversieglers nach vorheriger Politur, da eine niedrigere Oberflächenrauigkeit verglichen mit anderen Politursystemen beobachtet werden konnte. Allerdings hat genannte Autorin keinen Alterungsversuch durchgeführt und es wurde ein anderer Oberflächenversiegler als in unserer Studie verwendet. Die Resultate sind daher nur bedingt vergleichbar. Auch CATELAN ET AL. (2010) beobachteten bei mit Oberflächenversiegler behandelten Kompositproben eine glattere Oberfläche als bei Proben ohne Oberflächenversiegler. Sie konnten feststellen, dass eine künstliche Alterung keinen Einfluss auf die Oberflächenrauigkeit hat. Aber auch hier ist die Vergleichbarkeit begrenzt, da keine Abrasion (mechanische Komponente) simuliert wurde und sich das verwendete Verfahren der künstlichen Alterung (Behandlung durch UV Strahlung bzw. Hitze und Säure) deutlich vom Verfahren unserer Studie unterscheidet. Die oben genannten Vorteile konnten durch unsere Arbeit nicht bestätigt werden.

Man kann abschliessend sagen, dass die in dieser Arbeit getesteten Oberflächenversiegler verglichen mit einem herkömmlichen Politurverfahren (Sof-Lex Discs) auf Dauer keine Verbesserung der Oberflächenrauigkeit und des Glanzes herbeiführen. Diese Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen von LOPES ET AL. (2012) überein, die ebenfalls keine Verbesserung der Oberflächenrauigkeit durch Oberflächenversiegler bei Nanokompositen feststellen konnten. Auch ZIMMERLI ET AL. (2010) bezeichneten die langfristige Adhäsion von Oberflächenversiegeln als fragwürdig und empfehlen daher die konventionelle, mechanische Politur von permanenten Füllungen. Sie kamen zum Schluss, dass Oberflächenversiegler bestenfalls für provisorische Restaurationen verwendet werden sollten, da sie sich über die Zeit ablösen. Auch CILLI ET AL. (2009) stellten aufgrund der Verbesserungen der Oberflächeneigenschaften der modernen Komposite, insbesondere der nanogefüllten Komposite, die Notwendigkeit einer zusätzlichen Versiegelung der Oberfläche in Frage. Es würden nur zusätzliche Behandlungszeit und Materialkosten für den

---

Patienten und den Behandler anfallen. Die Erkenntnis, dass moderne Kompositmaterialien keine zusätzliche Oberflächenversiegelung benötigen wird durch vorliegende Arbeit gestützt.

## **6 Schlussfolgerung**

Aufgrund der Resultate dieser Arbeit lässt sich folgern, dass die Verwendung der getesteten Oberflächenversiegler keinen Vorteil gegenüber der herkömmlichen Politur mit Aluminiumoxid-Discs in Bezug auf das Glanzverhalten und die Oberflächenrauigkeit von Kompositrestaurationen nach künstlicher Alterung bietet.

## 7 Literaturverzeichnis

ANTONSON S A, YAZICI A R, KILINC E, ANTONSON D E, HARDIGAN P C: Comparison of different finishing/polishing systems on surface roughness and gloss of resin composites. *J Dent* 39 Suppl 1: 9-17 (2011)

ATTAR N: The effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of composite resin materials. *J Contemp Dent Pract* 8: 27-35 (2007)

BARBOSA S H, ZANATA R L, NAVARRO M F, NUNES O B: Effect of different finishing and polishing techniques on the surface roughness of microfilled, hybrid, packable composite resins. *Braz Dent J* 16: 39-44 (2005)

BARUCCI-PFISTER N, GÖHRING T N: Subjective and objective perceptions of specular gloss and surface roughness of esthetic resin composites before and after artificial aging. *Am J Dent* 22: 102-110 (2009)

BERTRAND M F, LEFORESTIER E, MULLER M, LUPI-PÉGURIER L, BOLLA M: Effect of surface penetrating sealant on surface texture and microhardness of composite resins. *J Biomed Mater Res* 53: 658-663 (2000)

BOLLEN C M, LAMBRECHTS P, QUIRYNEN M: Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dent Mater* 13: 258-269 (1997)

BORGES A B, MARSILIO A L, PAGANI C, RODRIGUES J R: Surface roughness of packable composite resins polished with various systems. *J Esthet Restor Dent* 16: 42-47 (2004)

CATELAN A, BRISO A L, SUNDFELD R H, DOS SANTOS P H: Effect of artificial aging on the roughness and microhardness of sealed composites. *J Esthet Restor Dent* 22: 324-330 (2010)

CELIK C, OZGÜNTAY G: Effect of finishing and polishing procedures on surface roughness of tooth-colored materials. *Quintessence Int* 40: 783-789 (2009)

CHARIG A, WINSTON A, FLICKINGER M: Enamel mineralization by calcium-containing-bicarbonate toothpastes: assessment by various techniques. *Compend Contin Educ Dent* 25: 14-24 (2004)

CHUNG K H: Effects of finishing and polishing procedures on the surface texture of resin composites. *Dent Mater* 10: 325-330 (1994)

CILLI R, DE MATTOS M C, HONORIO H M, RIOS D, DE ARAUJO P A, PRAKKI A: The role of surface sealants in the roughness of composites after a simulated toothbrushing test. *J Dent* 37: 970-977 (2009)

DA COSTA J, FERRACANE J L, PARAVINA R D, MAZUR R F, ROEDER L: The effect of different polishing systems on surface roughness and gloss of various resin composites. *J Esthet Restor Dent* 19: 214-226 (2007)

DA COSTA J, ADAMS-BELUSKO A, RILEY K, FERRACANE J L: The effect of various dentifrices on surface roughness and gloss of resin composites. *J Dent* 38 Suppl 2: 123-128 (2010)

DICKINSON G L, LEINFELDER K F, MAZER R B, RUSSELL C M: Effect of surface penetrating sealant on wear rate of posterior composite resins. *J Am Dent Assoc* 121: 251-255 (1990)

DICKINSON G L, LEINFELDER K F: Assessing the long-term effect of a surface penetrating sealant. *J Am Dent Assoc* 124: 68-72 (1993)

DOS SANTOS G B, ALTO R V, FILHO H R, DA SILVA E M, FELLOWS C E: Light transmission on dental resin composites. *Dent Mater* 24: 571-576 (2008)

DOS SANTOS P H, PAVAN S, ASSUNÇÃO W G, CONSANI S, CORRER-SOBRINHO L, SINHORETI M A: Influence of surface sealants on microleakage of composite resin restorations. *J Dent Child (Chic)* 75: 24-28 (2008)

DUNN J R: Direct composites in a contemporary restorative practice. *Compend Contin Educ Dent* 19: 271-272 (1998)

ERDEMIR U, SANCAKLI H S, YILDIZ E: The effect of one-step and multi-step polishing systems on the surface roughness and microhardness of novel resin composites. *Eur J Dent* 6:198-205 (2012)

FERRACANE J L, CONDON J R: Rate of elution of leachable components from composite. *Dent Mater* 6: 282-287 (1990)



FERRACANE J L, MARKER V A: Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res* 71: 13-19 (1992)

FERRACANE J L, BERGE H X, CONDON J R: In vitro aging of dental composites in water - Effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 42: 465-472 (1998)

FERRACANE J L: Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* 22: 211-222 (2006)

GANSS C, HARDT M, BLAZEK D, KLIMEK J, SCHLUETER N: Effects of toothbrushing force on the mineral content and demineralized organic matrix of eroded dentine. *Eur J Oral Sci* 117: 255-260 (2009)

GÖNÜLOL N, YILMAZ F: The effect of finishing and polishing techniques on surface roughness and color stability of nanocomposites. *J Dent* 40 Suppl 2: 64-70 (2012)

HEINTZE S D, ZIMMERLI B: Relevance of in-vitro tests of adhesive and composite dental materials. A review in 3 parts. Part 2: non-standardized tests of composite materials. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 121: 916-930 (2011)

HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T: Restaurationen mit plastischen Füllungsmaterialien. In: *Einführung in die Zahnerhaltung*, Urban & Fischer: München (5. Auflage): 181-277 (2009)

HERRGOTT A M, ZIEMIECKI T L, DENNISON J B: An evaluation of different composite resin systems finished with various abrasives. *J Am Dent Assoc* 119: 729-732 (1989)

HOSOYA Y, SHIRAISHI T, ODATSU T, NAGAFUJI J, KOTAKU M, MIYAZAKI M, POWERS J M: Effects of polishing on surface roughness, gloss, and color of resin composites. *J Oral Sci* 53: 283-291 (2011)

JONES C S, BILLINGTON R W, PEARSON G J: The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J* 196: 42-45 (2004)

KAKABOURA A, FRAGOULI M, RAHIOTIS C, SILIKAS N: Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *J Mater Sci Mater Med* 18: 155-163 (2007)

LEE S Y, GREENER E H, MENIS D L: Detection of leached moieties from dental composites in fluids simulating food and saliva. *Dent Mater* 11: 348-353 (1995)

LOPES M B, SAQUY P C, MOURA S K, WANG L, GRACIANO F M, CORRER SOBRINHO L, GONINI JÚNIOR A: Effect of different surface penetrating sealants on the roughness of a nanofiller composite resin. *Braz Dent J* 23: 692-697 (2012)

LU H, ROEDER L B, POWERS J M: Effect of polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *J Esthet Restor Dent* 15: 297-303 (2003)

LU H, ROEDER L B, LEI L, POWERS J M: Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites. *J Esthet Restor Dent* 17: 102-108 (2005)

MCCABE J F, MOLYVDA S, ROLLAND S L, RUSBY S, CARRICK T E: Two- and three-body wear of dental restorative materials. *Int Dent J* 52: 406-416 (2002)

McKINNEY J E, WU W: Chemical softening and wear of dental composites. *J Dent Res* 64: 1326-1331 (1985)

MITRA S B, WU D, HOLMES B N: An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc* 134: 1382-1390 (2003)

MORGAN M: Finishing and polishing of direct posterior resin restorations. *Pract Proced Aesthet Dent* 16: 211-217 (2004)

NAGEM FILHO H, D'AZEVEDO M T, NAGEM H D, MARSOLA F P: Surface roughness of composite resins after finishing and polishing. *Braz Dent J* 14: 37-41 (2003)

O'BRIEN W J, JOHNSTON W M, FANIAN F, LAMBERT S: The surface roughness and gloss of composites. *J Dent Res* 63: 685-688 (1984)

PEREZ DAVIDI M, BEYTH N, STERER N, FEUERSTEIN O, WEISS E I: Effect of liquid-polish coating on in vivo biofilm accumulation on provisional restorations: part 1. *Quintessence Int* 38: 591-596 (2007)

QUIRYNEN M, BOLLEN C M, PAPAIOANNOU W, VAN ELDERE J, VAN STEENBERGHE D: The influence of titanium abutment surface roughness on plaque accumulation and gingivitis: short-term observations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 11: 169-178 (1996)

RAMOS R P, CHINELATTI M A, CHIMELLO D T, DIBB R G: Assessing microleakage in resin composite restorations rebonded with a surface sealant and three low-viscosity resin systems. *Quintessence Int* 33: 450-456 (2002)

ROEDER L B, TATE W H, POWERS J M: Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of packable composites. *Oper Dent* 25: 534-543 (2000)

ROULET J F, WÄLTI C: Influence of oral fluid on composite resin and glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent* 52: 182-189 (1984)

SANTERRE J P, SHAJII L, LEUNG B W: Relation of dental composite formulations to their degradation and the release of hydrolyzed polymeric-resin-derived products. *Crit Rev Oral Biol Med* 12: 136-151 (2001)

SÖDERHOLM K J: Water sorption in a bis(GMA)/TEGDMA resin. *J Biomed Mater Res* 18: 271-279 (1984)

ST-GEORGES A J, BOLLA M, FORTIN D, MULLER-BOLLA M, THOMPSON J Y, STAMATIADIS P J: Surface finish produced on three resin composites by new polishing systems. *Oper Dent* 30: 593-597 (2005)

TURSSI C P, SAAD J R, DUARTE S L JR, RODRIGUES A L JR: Composite surfaces after finishing and polishing techniques. *Am J Dent* 13: 136-138 (2000)

TURSSI C P, FERRACANE J L, SERRA M C: Abrasive wear of resin composites as related to finishing and polishing procedures. *Dent Mater* 21: 641-648 (2005)

VAN DIJKEN J W, RUYTER I E: Surface characteristics of posterior composites after polishing and toothbrushing. *Acta Odontol Scand* 45: 337-346 (1987)

VAN GROENINGEN G, JONGEBLOED W, ARENDS J: Composite degradation in vivo. *Dent Mater* 2: 225-227 (1986)

WIEGAND A, KÖWING L, ATTIN T: Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 52: 1043-1047 (2007)

WIEGAND A, SCHWERZMANN M, SENER B, MAGALHAES A C, ROOS M, ZIEBOLZ D, IMFELD T, ATTIN T: Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel - an in vitro study. *Acta Odontol Scand* 66: 231-235 (2008)

WIEGAND A, KUHN M, SENER B, ROOS M, ATTIN T: Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent* 37: 480-484 (2009)

WILLEMS G, LAMBRECHTS P, BRAEM M, CELIS J P, VANHERLE G: A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater* 8: 310-319 (1992)

WU W, MCKINNEY J E: Influence of chemicals on wear of dental composites. *J Dent Res* 61: 1180-1183 (1982)

YAP A U, TAN S H, WEE S S, LEE C W, LIM E L, ZENG K Y: Chemical degradation of composite restoratives. *J Oral Rehabil* 28: 1015-1021 (2001)

YAP A U, YAP S H, TEO C K, NG J J: Finishing/polishing of composite and compomer restoratives: effectiveness of one-step systems. *Oper Dent* 29: 275-279 (2004)

ZIMMERLI B, KOCH T, FLURY S, LUSSI A: The influence of toothbrushing and coffee staining on different composite surface coatings. *Clin Oral Investig* 16: 469-479 (2012)

## 8 Danksagungen

Besonderer Dank gilt allen Personen, die mich während meiner Dissertation unterstützt haben:

Herrn Prof. Dr. Thomas Attin danke ich herzlich für die Überlassung dieses überaus interessanten Themas und die Gewissheit, dass ich mich bei jeglichen Fragen oder Problemen immer an ihn hätte wenden dürfen.

Auch Dr. Tobias Tauböck bin ich zu besonderem Dank verpflichtet. Er betreute mich während meiner Dissertation intensiv und stand mir stets mit vielen wertvollen Tipps zur Seite. Ich konnte von ihm viel über das wissenschaftliche Arbeiten lernen. Die Stunden in seinem Büro waren zwar oft anstrengend, aber auch stets unterhaltsam.

Ein grosses Dankeschön geht an das Team des PPK-Labors der Universität Zürich, für die nette Einführung und Betreuung beim Benutzen der Laborgeräte und besonders für die Unterstützung zur Einhaltung meines straffen Zeitplans. Ein spezieller Dank gebührt hierbei Laborleiterin Frau Beatrice Sener, die einen perfekten Zeitplan für mich ausgearbeitet hat und mir bei dessen Einhaltung und sämtlichen Fragen tatkräftig zur Seite stand.

Ausserdem bedanke ich mich bei Frau Dr. Malgorzata Roos für die Hilfe bei der statistischen Auswertung meiner Resultate.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, welche mir mein Studium überhaupt erst ermöglicht hat. Sie war während der gesamten Zeit immer für mich da, hat stets an mich geglaubt und mich mit ihrer moralischen Unterstützung immer wieder aufs Neue motiviert.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Freundin Janine Dörig, die mich stets unterstützt, motiviert und mir auch in schwierigen Phasen immer Mut zugesprochen hat. Dank der Weitergabe ihrer herausragenden Kenntnisse in sämtlichen „Microsoft Office“- Programmen hat sie mir zudem viele Arbeitsstunden erspart.

Ich danke auch all meinen Freunden, die immer an mich geglaubt haben. Während der schwierigen Phasen konnten sie mich oft auf andere Gedanken bringen und so für die nötige Ablenkung sorgen. Dadurch konnte ich anschliessend wieder mit voller Energie ans Werk gehen.